

LVS³

Untersuchung zur
Nachhaltigkeit von
Stahlkonstruktionen

Anwendungsleitfaden

INHALT

1	Einführung und Ziel	6
2	Programmiersprache und Umgebung.....	6
3	Allgemeine Funktionen von AMECO3	7
3.1	Vorwort.....	7
3.2	Installation.....	9
3.3	Sprachen.....	9
3.4	Einheiten	9
4	Technische Beschreibung	10
4.1	Definition eines Projektes.....	10
4.1.1	Definition der Gebäudestruktur und allgemeine Angaben.....	10
4.1.1.1	Allgemeine Parameter	10
4.1.1.2	Geschossdecken.....	12
4.1.1.3	Tragwerk	13
4.1.1.4	Transportannahmen	13
4.1.1.5	Lebensende.....	14
4.1.2	Definition einer Brücke	15
4.1.2.1	Tragwerk	15
4.1.2.2	Transportannahmen	16
4.1.2.3	Lebensende.....	16
4.1.3	Gebäudehülle.....	17
4.1.3.1	Fassadengeometrie.....	17
4.1.3.2	Fassadeneigenschaften.....	17
4.1.3.3	Bodenplatte	18
4.1.3.4	Zusätzliche Parameter.....	19
4.1.3.5	Dach.....	19
4.1.4	Gebäudebelegung.....	20
4.1.5	Gebäudesysteme	20
4.1.5.1	Heizsystem.....	20
4.1.5.2	Kühlsystem.....	21
4.1.5.3	Lüftungssystem	21
4.1.5.4	Warmwassersystem	21
4.2	Konstanten und spezifische Parameter	22
4.3	Berechnung der Umweltwirkungen einer Konstruktion	23
4.3.1	Grundlagen	23
4.3.1.1	Parameter zur Beschreibung der Umweltwirkungen	24
4.3.1.2	Parameter zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes.....	26
4.3.1.3	Andere Umweltinformationen, die verschiedene Abfallkategorien beschreiben	27

4.3.1.4	Sonstige Umweltinformationen, die Output-Stoffflüsse beschreiben	27
4.3.2	Umweltwirkung eines Gebäudes	28
4.3.2.1	Modul A	28
4.3.2.2	Modul B	29
4.3.2.3	Modul C	43
4.3.2.4	Modul D	44
5	Software-Ausgabe	46
5.1	Detaillierte Ausgabe-Daten für die Nutzungsphase	46
5.1.1	Energiebedarf für die Raumheizung	46
5.1.2	Energiebedarf für die Raumkühlung	47
5.1.3	Energiebedarf für die Warmwasserbereitung	48
5.1.4	Energiesummen	48
5.1.5	Solare Wärmeeinträge	49
5.2	Output-Daten für die Nutzungsphase	49
6	Anleitung zur Nutzung von AMECO3	51
6.1	Projekt	51
6.2	Gebäude	52
6.2.1	Allgemeine Parameter	52
6.2.2	Standort	55
6.2.3	Gebäudehülle	57
6.2.4	Bodenplatte	61
6.2.5	Dach	62
6.2.6	Belegung	63
6.2.7	Systeme	64
6.2.8	Tragwerk	65
6.2.9	Decken	66
6.2.10	Transport	67
6.2.11	Ergebnisse	68
6.2.11.1	Balkendiagramme	68
6.2.11.2	Tabelle	71
6.2.11.3	Radialgraph (Netz-Diagramm)	72
6.2.11.4	Berechnungsblatt	73
7	Fallstudien	76
7.1	Bürogebäude	76
7.1.1	Einführung	76
7.1.2	Beschreibung der Gebäude	76
7.1.3	Umweltbewertung mit der AMECO3-Software	80
7.1.3.1	Dateneingabe in AMECO3	80
7.1.3.2	Ergebnisse der Berechnung mit AMECO3	84

7.2	Wohngebäude - CasaBuna Wohnhaus in Rumänien.....	88
7.2.1	Beschreibung des Gebäudes	88
7.2.2	Dateneingabe in AMECO3	91
7.2.2.1	Allgemeine Dateneingabe für das Wohnhaus in AMECO3	91
7.2.2.2	Dateneingabe für die Gebäudegeometrie (Module A-C-D)	91
7.2.2.3	Dateneingabe für die Gebäudekomponenten (Module A-B-C-D)	92
7.2.2.4	Dateneingabe für die Nutzungsphase des Gebäudes (Modul B).....	93
7.2.2.5	Allgemeine Daten für das Tragwerk des Gebäudes (Module A-C-D)	94
7.2.2.6	Daten für den Transport der Bauteile (Modul A)	95
7.2.3	Ergebnisse der Berechnung mit AMECO3.....	96
7.3	Industriehalle.....	101
7.3.1	Umfang der Studie	101
7.3.2	Beschreibung des Gebäudes	101
7.3.3	Tragwerk	101
7.3.4	Komponenten der Gebäudehülle.....	103
7.3.5	Heizungs-, Kühlungs- und Belüftungssysteme	103
7.3.6	Hauptannahmen.....	103
7.3.7	Dateneingabe in AMECO3	104
7.3.7.1	Allgemeine Dateneingabe für die Industriehalle.....	104
7.3.7.2	Dateneingabe für die Gebäudegeometrie (Module A-C-D)	104
7.3.7.3	Dateneingabe für die Gebäudekomponenten (Module A-B-C-D)	105
7.3.7.4	Dateneingabe für die Nutzungsphase des Gebäudes (Modul B).....	106
7.3.7.5	Allgemeine Daten für das Tragwerk des Gebäudes (Module A-C-D)	106
7.3.7.6	Dateneingabe für den Transport der Bauteile (Modul A).....	107
7.3.8	Ergebnisse der Berechnung mit AMECO3.....	108
7.3.8.1	Stahltragwerk S235	108
7.3.8.2	Stahltragwerk S460	113
7.3.8.3	Betontragwerk	114
7.3.8.4	Vergleich der GWP-Wirkungen der drei Tragsysteme	118
7.3.9	Analyse der Umweltvorteile durch Erhöhung der Dämmschichtdicke	119
8	Literatur.....	123

1 Einführung und Ziel

Ziel dieses Dokumentes ist es, Informationen zu den verschiedenen Schritten für die ökologische Bewertung von Stahl- und Verbundbauten Software AMECO3 bereitzustellen.

Dieses Dokument wurde im Rahmen des Projektes **LVS³: Untersuchung zur Nachhaltigkeit von Stahlkonstruktionen** (RFS2-CT-2013-00016) erstellt.

Der Anwendungsleitfaden konzentriert sich auf:

- eine Beschreibung des Berechnungsprozesses: die technischen Spezifikationen erläutern die Schritte, die bei der ökologischen Bewertung von Gebäuden in der AMECO-Software durchgeführt werden;
- eine Anleitung für die Verwendung von AMECO;
- die Anwendung von AMECO anhand von Fallbeispielen.

Die in der Software genutzten Ansätze wurden im Rahmen des europäischen RFSC-Projektes „SB-Steel: *Sustainability of Steel Buildings*“ (*SB_Steel, 2014*) entwickelt und validiert.

Die sich gegenseitig ergänzenden Methoden sind:

- der Makro-Komponenten-Ansatz, der die Ökobilanz von Gebäuden und/oder Gebäudeteilen adressiert, aber nicht die Berechnung der Nutzungsenergie des Gebäudes beinhaltet;
- ein sich auf die Nutzungsphase fokussierender Ansatz, der die Berechnung der Nutzungsenergie von Gebäuden ermöglicht.

Der **“Hintergrundbericht”**, ebenfalls ein Ergebnis dieses RFCS LVS³-Projektes, liefert detaillierte Beschreibungen der verwendeten Ansätze zur Bewertung der Umweltwirkungen im Lebenszyklus und für die Einschätzung des Energiebedarfs des Gebäudes während der Nutzungsphase.

2 Programmiersprache und Umgebung

AMECO ist ein Werkzeug, das die Umweltwirkungen von Tragkonstruktionen aus Stahl und Beton berechnet. AMECO3 ist eine Erweiterung von AMECO Version 2, mit der nun auch die Nutzungsphase des Gebäudes berücksichtigt werden kann.

AMECO3 nutzt die VB2008 Computersprache. Diese Sprache basiert auf der .NET-Technologie von Microsoft. Es wird daher angenommen, dass die .NET-Struktur auf dem Computer des Nutzers eingestellt ist. Diese ist automatisch in den neuen Betriebssystemen Microsoft Vista und Windows 7/8 vorhanden, muss jedoch in älteren Versionen vor der Nutzung von AMECO3 vom Nutzer installiert werden.

Die Entwicklung basiert auf dem .Net System Version 2.0, die auf den folgenden Betriebssystemen nachträglich installiert werden kann: Windows 2000 Service Pack 3; Windows 98; Windows 98 Second Edition; Windows ME; Windows Server 2003, Windows XP Service Pack 2. Mit anderen, nicht zuvor genannten Konfigurationen, könnte AMECO3 nicht kompatibel sein.

3 Allgemeine Funktionen von AMECO3

3.1 Vorwort

AMECO3 befasst sich mit Gebäuden oder Brücken aus Stahl und Beton. Es beachtet 24 Messgrößen in den folgenden Gruppen (genaue Benennungen siehe unten):

- Messgrößen, die die Umweltwirkungen beschreiben: GWP, ODP, AP, EP, POCP, ADP-Elemente, ADP-fossile Brennstoffe.
- Messgrößen, die die Ressourcennutzung beschreiben: Sekundärmaterialien, Brennstoffe, Wassereinsatz, erneuerbare Primärenergie als Energieträger, erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung, Gesamtsumme erneuerbare Primärenergie (Summe aus erneuerbarer Primärenergie als Energieträger und zur stofflichen Nutzung), nicht erneuerbare Primärenergie als Energieträger, nicht erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung, Gesamtsumme nicht erneuerbare Primärenergie (Summe aus nicht erneuerbarer Primärenergie als Energieträger und zur stofflichen Nutzung), Einsatz von Sekundärstoffen, erneuerbare Sekundärbrennstoffe, nicht erneuerbare Sekundärstoffe, Einsatz von Süßwasserressourcen.
- Abfallkategorien: Gefährliche Abfälle zur Deponierung, entsorgte nicht gefährliche Abfälle, entsorgte radioaktive Abfälle.
- Andere Output-Flüsse: Komponenten für die Wiederverwendung, Stoffe zum Recycling, Stoffe für die Energierückgewinnung, exportierte Energie.

Weiterhin werden alle ermittelten Mengen jeweils vier Modulen zugeordnet (Produkt- und Bauphase, Nutzungsphase, Lebensende (EoL - End of Life) sowie Gutschriften und Lasten außerhalb der Systemgrenzen).

Index	Daten verfügbar	Abkürzung	Bezeichnung	Einheit
Umweltwirkungen				
1	Ja	GWP	Treibhauspotenzial	t _{CO2} -Äqv.
2	Ja	ODP	Ozonabbaupotenzial	t _{CFC11} -Äqv.
3	Ja	AP	Versauerungspotenzial	t _{SO2} -Äqv.
4	Ja	EP	Eutrophierungspotenzial	t _{PO4} -Äqv.
5	Ja	POCP	Photochemisches Ozonbildungspotenzial	t _{Ethen} -Äqv.
6	Ja	ADP-e	Potenzial für die Verknappung von abiotischen Ressourcen – Stoffe	t _{Sb} -Äqv.
7	Ja	ADP-ff	Potenzial für die Verknappung von abiotischen Ressourcen - fossile Brennstoffe	GJ

Ressourceneinsatz, Sekundärmaterialien und Brennstoffe				
8	Nein	RPE	erneuerbare Primärenergie als Energieträger	GJ
9	Nein	RER	erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung	GJ
10	Ja	RPE-total	Gesamtsumme erneuerbare Primärenergie (Summe aus erneuerbarer Primärenergie als Energieträger und zur stofflichen Nutzung)	GJ
11	Nein	Non-RPE	nicht erneuerbare Primärenergie als Energieträger	GJ
12	Nein	Non-RER	nicht erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung	GJ
13	Ja	Non-RPE-total	Gesamtsumme nicht erneuerbare Primärenergie (Summe aus nicht erneuerbarer Primärenergie als Energieträger und zur stofflichen Nutzung)	GJ
14	Nein	SM	Einsatz von Sekundärstoffen	t
15	Nein	RSF	erneuerbare Sekundärbrennstoffe	GJ
16	Nein	Non-RSF	nicht erneuerbare Sekundärbrennstoffe	GJ
17	Ja	NFW	Einsatz von Süßwasserressourcen	10 ³ m ³
Abfallkategorien				
18	Ja	HWD	Gefährliche Abfälle zur Deponierung	t
19	Ja	Non-HWD	entsorgte nicht gefährliche Abfälle	t
20	Ja	RWD	entsorgte radioaktive Abfälle	t
Andere Output-Flüsse				
21	Nein	CR	Komponenten für die Wiederverwendung	t
22	Nein	MR	Stoffe zum Recycling	t
23	Nein	MER	Stoffe für die Energierückgewinnung	t
24	Nein	EE	exportierte Energie	t

Tabelle 1: Umweltwirkungen¹

Die wesentliche Neuerung bei AMECO3 ist die Einführung der Nutzungsphase bei der Berechnung der Umweltwirkungen. Sie erlaubt die Abschätzung des Energiebedarfs für viele Gebäudesysteme (Heizung, Kühlung etc.). Ihre Kalkulation basiert auf diversen internationalen Normen wie ISO-13370, ISO-13789 und ISO-13790 sowie auf der europäischen Norm EN 15316.

AMECO bietet die Möglichkeit, entweder ein Gebäude oder eine Brücke zu betrachten. Die Erweiterung auf die Nutzungsphase ist jedoch nur für Gebäude verfügbar.

¹ Alle GJ-Angaben beziehen sich auf den unteren Heizwert (Net Calorific Value - NCV)

3.2 Installation

AMECO wird mit einem, mit der kostenlosen Anwendung „Install Creator“ erstelltem, Installations-Paket geliefert. Dieses beinhaltet:

- die .exe-Datei
- alle erforderlichen dynamischen Bibliotheken sowie die Komponenten-Bibliotheken (.dll Dateien)
- die Datenbanken
- die Hilfe-Dateien
- die Sprach-Dateien
- die Icons und alle erforderlichen Abbildungen

3.3 Sprachen

AMECO ist ein mehrsprachiges Programm. Alle in der Benutzeroberfläche dargestellten Texte werden aus für jede Sprache separat erstellten Sprach-Dateien ausgelesen. Die Texte in den Sprachdateien sind in verschiedene Blöcke zusammengefasst und werden mittels Schlüsselwörtern zugeordnet.

3.4 Einheiten

Die zu definierenden Parameter sind in folgenden Einheiten anzuwenden:

Gewicht:	Tonnen
Abmessungen:	m
Plattendicke:	mm
Entfernung:	km
Dichte:	kg/m ³
Geschossfläche:	m ²
Energiebedarf:	kWh

Die für die Umweltwirkungen verwendeten Einheiten werden in Tabelle 10 angegeben (siehe Kapitel 5.2 Output-Daten für die Nutzungsphase).

4 Technische Beschreibung

4.1 Definition eines Projektes

Zur Berechnung der Umweltwirkungen ist es erforderlich, verschiedene Informationen anzugeben. Benötigt werden Beschreibungen der Konstruktion, Angaben zu den Transporten der Bauteile zur Baustelle und Angaben, wie die eingesetzten Bauteile nach dem Rückbau des Gebäudes genutzt werden.

Zur Berechnung der Nutzungsphase werden die in den nachfolgenden Unterkapiteln beschriebenen Angaben zum Gebäude benötigt. Im Folgenden bedeutet der Buchstabe *m* Monat. Die Zahl *m* reicht von 1 bis 12 und die Abkürzung *dir* steht für Richtung (direction) aus N, W, O und S.

4.1.1 Definition der Gebäudestruktur und allgemeine Angaben

4.1.1.1 Allgemeine Parameter

Die allgemeine Gebäudebeschreibung wird vom Nutzer mit den folgenden Parametern definiert:

Länge	ℓ_b
Breite	w_b
Anzahl der Geschosse	$n_{b,fl}$
Nutzfläche der Geschosse	$a_{b,fl,custom}$

Die Standardfläche der Geschosse wird mit folgender Formel berechnet:

$$a_{b,fl,default} = n_{b,fl} \ell_b w_b \quad (\text{Formel 1})$$

Entsprechend den vom Benutzer gewählten Berechnungsoptionen wird die Fläche der Geschosse wie folgt berechnet:

$$a_{b,fl} = a_{b,fl,custom} \quad \text{wenn die Fläche vom Benutzer definiert wird} \quad (\text{Formel 2})$$

$$a_{b,fl} = a_{b,fl,default} \quad \text{sonstige}$$

Der Standort des Gebäudes muss aus einer der in der Städte-Datenbank vorhandenen Städte ausgewählt werden.

Für jede Stadt wurden folgende Parameter in der Datenbank definiert:

	Land
$\theta_{ext}(m)$	Außentemperatur im Monat <i>m</i> [°C]
$I_{sol,k}(m, dir)$	einfallende Sonnenstrahlung aus Richtung <i>dir</i> im Monat <i>m</i> [W/m ²]
$I_{sol,k,roof}(m)$	einfallende Sonnenstrahlung auf das Dach im Monat <i>m</i> [W/m ²]
$f_{H,shut}(m)$	Anteil des Tages in dem im Monat <i>m</i> Nacht ist (für den Heizmodus, um beispielsweise die zusätzliche Dämmleistung von Verschattungseinrichtungen zu berücksichtigen) [-]
$f_{sh,with}(m, dir)$	gewichteter Zeitanteil der Nutzung von Sonnenschutzeinrichtungen [-]
Breitengrad	Breitengrad der Stadt
Klima	kann sub-polar, gemäßigt oder tropisch sein.
Geiger Klima	kann Csa, Csb, Cfb, Dfb oder Dfc sein.

Bei bekanntem Klima wird der folgende Parameter erhalten

$$\Delta\theta_{er} \quad \text{mittlere Differenz zwischen der Außenlufttemperatur und der scheinbaren Temperatur des Himmels in Abhängigkeit vom Klima (siehe Tabelle 14) [°C]}$$

Anhang 3 enthält entsprechende Wertetabellen für Coimbra, Tampere und Temeschwar (Timisoara).

Für das Gebäude sind unterschiedliche Nutzungsarten verfügbar: Wohnen (Residential Building - RB), Büros (Office Building - OB), Gewere (Commercial Building - CB) und Industrie (Industrial Building - IB). Diese Wahl beeinflusst diverse in den nachfolgenden Absätzen aufgeführte Standard-Werte.

Die Gebäudeform ist rechteckig. Die zugehörigen Daten sind:

ℓ_b	Länge der Nord - Süd Fassaden [m]
w_b	Länge der Ost - West Fassaden [m]
$n_{b,fl}$	Anzahl der Zwischendecken [-]
h_{floor}	Geschosshöhe (identisch für alle Geschosse) [m]
$a_{b,fl,custom}$	Nutzfläche der Geschosse [m ²]



Abbildung 1: Gebäudeform

Die Gesamtfläche des Gebäudes wird mit folgender Formel berechnet:

$$a_{b,fl,default} = (n_{b,fl} + 1) \cdot (\ell_b \cdot w_b - \ell_{b0} \cdot w_{b0})$$

Die Geschossflächen, die in den Berechnungen für die Module A, C und D genutzt werden, sind die Flächen der Zwischendecken. Diese Flächen werden automatisch berechnet mit:

$$a_{b,fl,interm,default} = n_{b,fl} \cdot (\ell_b \cdot w_b - \ell_{b0} \cdot w_{b0})$$

Drei andere Flächen werden verwendet:

$A_{conditionedarea}$	Fläche der konditionierten Bereiche [m ²]
A_{area1}	Fläche von primär konditionierten Bereichen [m ²]
A_{area2}	Fläche anderer konditionierter Bereiche [m ²]

Sie erfüllen:

$$A_{conditionedarea} = A_{area1} + A_{area2}$$

$A_{conditionedarea}$ entspricht der Gesamtfläche des Gebäudes $a_{b,fl,default}$ während A_{area1} und A_{area2} als Prozentsatz von $A_{conditionedarea}$ gemäß Tabelle 12 in Anhang 2 berechnet werden. Diese drei Flächen werden nicht angezeigt.

4.1.1.2 Geschossdecken

Stahlelemente:

Die in den Geschossdecken des Gebäudes verwendeten Stahlelemente werden mit den nachstehenden Parametern definiert.

Die Art der Decke muss aus einer der folgenden Möglichkeiten gewählt werden:

- nichtarmierte Betonplatte
- Verbundplatte
- verlorene Schalung
- vorgefertigt
- Trockendecke

Die Stahlbleche werden aus der gleichen Datenbank wie in AMECO [1] ausgewählt.

Die Gesamtmasse der Stahldecken im Gebäude wird errechnet mit:

$$m_{tss} = m_{ssu} a_{b,fl} \quad (\text{Formel 3})$$

mit m_{ssu} Stahldeckengewicht (pro Flächeneinheit) aus der Datenbank;
 $a_{b,fl}$ Geschossfläche (vgl. 4.1.1.1)

Betonelemente:

Die folgenden Parameter der Betonelemente werden verwendet:

Betonart, zu wählen aus:

- Ortbeton/gegossen
- vorgefertigt

Betongüte, zu wählen aus:

- C20/25
- C30/37

Gesamtdicke der Decke

t_{tfl}

Bewehrungsstahl

m_{conrs}

Die Summe des Betongewichtes m_{consl} wird berechnet mit:

$$m_{consl} = a_{b,fl} \rho_{consl} (t_{tfl} - t_{minss} + V_{tmin}) / 10^6 \quad (\text{Formel 4})$$

mit $a_{b,fl}$ Anzahl der Geschosse (vgl. 4.1.1.1)

$\rho_{consl} = 2.360 \text{ kg/m}^3$

t_{minss} Mindestdicke der Stahlbleche, entnommen aus der Datenbank

V_{tminss} Betonvolumen für die Mindestdeckendicke, entnommen aus der Datenbank

Hinweise:

- für Trockendecken ist $m_{consl} = 0$
- für Decken ohne Stahlbleche werden $t_{minss} = 0$ und $V_{tmin} = 0$ in der o.g. Formel eingesetzt.

4.1.1.3 Tragwerk

Stahlelemente:

Die folgenden Parameter zur Beschreibung der Stahlelemente des Tragwerks werden vom Benutzer definiert:

Gesamtmasse Stahlträger	m_{tsb}
Gesamtmasse Stahlstützen	m_{tsc}
Gesamtmasse Stahlbolzen	m_{tst}
Gesamtmasse Stahlschrauben	m_{tbo}
Gesamtmasse Blechverbindungen	m_{tpl}
Verlustrate für Stahlprofile	S_{plos}

Letztere Angabe bezieht sich auf Materialverluste, die entstehen, wenn die finalen Maße der Stahlprofile erstellt werden. Die Produktion eines Profils benötigt entsprechend $m (1 + S_{plos})$ von diesem Profil.

Betonelemente:

Die Parameter zur Beschreibung der Betonelemente sind, wie für Deckenplatten:

Gesamtmasse Betonträger	m_{tcb}
Gesamtmasse Betonstützen	m_{tcc}
Gesamtmasse Bewehrungsstahl	m_{trs}

Betonart, zu wählen aus:

- Ortbeton/gegossen
- vorgefertigt

Betongüte, zu wählen aus:

- C20/25
- C30/37

Holzelemente:

Seit Beginn von AMECO wurden verschiedene Angaben zur Beschreibung der Holzelemente verwendet. Die neuen Parameter zur Beschreibung von Holzelementen sind:

Gesamtmasse der Holzträger	m_{twb}
Gesamtmasse der Holzstützen	m_{twc}

4.1.1.4 Transportannahmen

Betontransport vom Werk zur Baustelle:

Die Parameter zur Beschreibung der Betontransporte sind:

Distanz für auf der Baustelle produzierten Beton	d_{conmix}
Distanz für vorgefertigten Beton	d_{conreg}

AMECO berechnet die Anteile des auf der Baustelle und im Werk hergestellten Betons wie folgt:

Anteil auf Baustelle hergestellter Beton:	$m_{conmix} = m_1 + m_2$	(Formel 5)
Anteil vorgefertigter Beton:	$m_{conreg} = m_3 + m_4$	(Formel 6)

mit $m_1 = m_{consl}$ wenn als Betonart für Betondecken (vgl. 4.1.1.2) „Ortbeton/gegossen“ gewählt wurde; sonst ist $m_1 = 0$

$m_2 = m_{tcb} + m_{tcc} + m_{trs}$ wenn die Betonart des Tragwerks (vgl. 4.1.1.3) „Ortbeton/gegossen“ ist; sonst $m_2 = 0$

$m_3 = m_{consl}$ wenn als Betonart für Betondeckenelemente (vgl.4.1.1.2) „vorgefertigt“ gewählt wurde; sonst $m_3 = 0$

$m_4 = m_{tcb} + m_{tcc} + m_{trs}$ wenn die Betonart des Tragwerks (vgl. 4.1.1.3) „vorgefertigt“ ist; sonst ist $m_4 = 0$

Stahltransport vom Werk zur Baustelle:

Der Benutzer kann auswählen, ob durchschnittliche Transportentfernungen für Stahl aus der europäischen Datenbank angesetzt oder eigene Werte verwendet werden sollen.

AMECO berechnet die Masse des zu transportierenden Stahls wie folgt:

$$m_{tstrtot} = m_{tss} + m_{conrs} + m_{tsb} + m_{tsc} + m_{tsst} + m_{tbo} + m_{tpl} + m_{trs} \quad (\text{Formel 7})$$

Wenn keine Durchschnittswerte verwendet werden, sind die folgenden Parameter zusätzlich anzugeben:

Masse des per Bahn transportierten Stahls	m_{str}
Transportdistanz per Bahn transportierter Stahl	d_{str}
Masse des per LKW transportierten Stahls	m_{sreg}
Transportdistanz per LKW transportierter Stahl	d_{sreg}

Dabei muss die folgende Bedingung erfüllt werden:

$$m_{tstrtot} = m_{str} + m_{sreg} \quad (\text{Formel 8})$$

Holztransport vom Werk zur Baustelle:

Die Parameter zur Beschreibung der Holztransporte sind:

Masse des per Bahn transportierten Holzes	m_{wtr}
Transportdistanz per Bahn transportiertes Holz	d_{wtr}
Masse des per LKW transportierten Holzes	m_{wreg}
Transportdistanz per LKW transportiertes Holz	d_{wreg}

AMECO berechnet die Masse des zu transportierenden Holzes mit:

$$m_{twtrtot} = m_{twb} + m_{twc} \quad (\text{Formel 9})$$

Dabei muss folgende Bedingung erfüllt werden:

$$m_{twtrtot} = m_{wtr} + m_{wreg} \quad (\text{Formel 10})$$

4.1.1.5 Lebensende

Der Benutzer hat die Möglichkeit, alle Parameter, die sich auf das Lebensende der Elemente beziehen, zu ändern.

Stahl:

Bei Stahlelementen wird ein bestimmter Anteil nach dem Rückbau des Gebäudes recycelt. Der Anteil der recycelten Elemente wird mit $eol_{element}$ angegeben. Darüber hinaus können manche Träger und Stützen wiederverwendet werden (Anteil re_{sbc}). Der Materialanteil, der weder wiederverwendet noch recycelt wird, geht verloren.

Die Anteile zur Beschreibung des Nutzungsendes von Stahl werden wie folgt vom Benutzer definiert:

Recycling von Bewehrungsstahl	eol_{srs}
Recycling von Stahlblechen	eol_{sd}

Recycling von Trägern und Stützen	eol_{sbc}
Wiederverwendung von Trägern und Stützen	re_{sbc}
Recycling von Schrauben und Bolzen	eol_{sstbo}
Recycling von Blechverbindungen	eol_{spl}

Beton:

Betonelemente werden nicht recycelt. Sie können jedoch aufbereitet und als Schotter verwendet werden. Der Anteil der aufbereiteten Betonelemente wird angegeben als $val_{element}$.

Die Parameter zur Beschreibung der Aufbereitung von Beton werden wie folgt vom Benutzer definiert:

Aufbereitung von Decken	val_{conf}
Aufbereitung des Tragwerks	val_{const}

Holz:

Nach dem Rückbau eines Gebäudes wird Holz teilweise verbrannt. Dabei kann ein Anteil der freigesetzten Energie in elektrische Energie umgewandelt werden.

Der Parameter zur Beschreibung des Lebensendes von Holz wird vom Benutzer definiert:

Verbrennung von Tragwerkselementen aus Holz mit Energierückgewinnung	inc_w
--	---------

4.1.2 Definition einer Brücke

4.1.2.1 Tragwerk

Stahlelemente:

Die folgenden Parameter zur Beschreibung der Stahlelemente einer Brücke werden vom Benutzer definiert:

Gesamtmasse Stahlprofile	m_{tspbr}
Gesamtmasse Stahlbolzen	m_{tstbr}
Gesamtmasse Kopfplatten	m_{tepbr}
Gesamtmasse andere Profile	m_{totbr}
Gesamtmasse andere Betonstähle	m_{torbr}

Verlustrate für Stahlprofile	s_{plos}
------------------------------	------------

Letztere Angabe bezieht sich auf Materialverluste, die entstehen, wenn die finalen Maße der Stahlprofile erstellt werden. Die Produktion eines Profils benötigt entsprechend $m (1 + s_{plos})$ von diesem Profil.

Beton:

Die Parameter zur Beschreibung der Betonelemente der Brücke werden wie folgt angegeben:

Gesamtmasse Beton	m_{tcb}
Gesamtmasse Bewehrungsstahl	m_{trsb}

Betonart, zu wählen aus:

- Ortbeton/gegossen
- vorgefertigt

Betongüte, zu wählen aus:

- C20/25
- C30/37

4.1.2.2 Transportannahmen

Betontransport von der Herstellung zur Baustelle:

Die Parameter zur Beschreibung der Betontransporte sind:

Distanz für auf der Baustelle produzierten Beton $d_{conmixbr}$

Distanz für vorgefertigten Beton $d_{conregbr}$

AMECO berechnet die Anteile des auf der Baustelle und im Werk hergestellten Betons wie folgt:

Anteil auf Baustelle hergestellter Beton: $m_{conmixbr}$

Anteil vorgefertigter Beton: $m_{conregbr}$

mit $m_{conmixbr} = m_{tcb}$ wenn als Betonart „Ortbeton/gegossen“ gewählt wurde; sonst 0

$m_{conregbr} = m_{tcb}$ wenn als Betonart „vorgefertigt“ gewählt wurde; sonst 0

Stahltransport vom Werk zur Baustelle:

Der Benutzer kann auswählen, ob durchschnittliche Transportentfernungen für Stahl aus der europäischen Datenbank angesetzt werden oder eigene Werte.

AMECO berechnet die Masse des zu transportierenden Stahls mit:

$$m_{tstrtotbr} = m_{tspr} + m_{tstr} + m_{tepr} + m_{totbr} + m_{torbr} + m_{trsbr} \quad (\text{Formel 11})$$

Wenn keine Durchschnittswerte verwendet werden, sind die folgenden Parameter zusätzlich anzugeben:

Masse des per Bahn transportierten Stahls m_{strbr}

Transportdistanz per Bahn transportierter Stahl d_{strbr}

Masse des per LKW transportierten Stahls m_{sregbr}

Transportdistanz per LKW transportierter Stahl d_{sregbr}

Dabei muss die folgende Bedingung erfüllt werden:

$$m_{tstrtotbr} = m_{strbr} + m_{sregbr} \quad (\text{Formel 12})$$

4.1.2.3 Lebensende

Der Benutzer kann alle auf das Lebensende der Brücke bezogenen Parameter anpassen.

Stahl:

Die Anteile zur Beschreibung des Nutzungsendes von Stahl können, wie bei Gebäuden, vom Benutzer angegeben werden:

Recycling von Profilen eol_{spbr}

Wiederverwendung von Profilen re_{spbr}

Recycling von Bolzen eol_{stbr}

Recycling von Kopfplatten eol_{sepbr}

Recycling anderer Profile eol_{sotbr}

Recycling anderer Betonstähle eol_{sorbr}

Recycling von Bewehrungsstahl eol_{srsbr}

Beton:

Der gleichen Definition wie bei Gebäuden folgend, kann der Benutzer den Anteil des aufbereiteten Betons definieren:

Aufbereitung von Beton val_{conbr}

4.1.3 Gebäudehülle

4.1.3.1 Fassadengeometrie

Die Beschreibung der Wände beinhaltet die folgenden Parameter:

$A_{lat,tot}(dir)$:	Wandfläche in Richtung dir , automatisch berechnet als Produkt aus Länge und Höhe [m ²]
$A_{lat,opening}(dir)$	Fensterfläche in der dir -Wand, definiert durch die Angabe der Prozentzahl bezogen auf die gesamte Fassadenfläche [m ²]
$A_{lat}(dir)$:	Netto-Fläche der Wand in Richtung dir , automatisch berechnet als Differenz von $A_{lat,tot}(dir)$ und $A_{lat,opening}(dir)$ [m ²]
$F_{glazing,sh}(dir)$	Verschattungsfaktor von Fenstern in der dir -Wand, verborgener Standardwert 1.
$F_{walls,sh}(dir)$	Verschattungsfaktor der dir -Wand, verborgener Standardwert 1.

4.1.3.2 Fassadeneigenschaften

Der Benutzer wählt die Art der Wand und Fenster (*WallType* und *OpeningType*) aus den Objekten, die in der zugehörigen Liste von Makro-Elementen definiert sind (vgl. Tabelle 16 und Tabelle 15 in Anhang 2). Die entsprechenden Variablen werden aktualisiert:

U_{walls}	U-Wert für Wände [W/(m ² .K)], nicht veränderbar
$k_{m,walls}$	Trägheit pro Quadratmeter [J/(m ² .K)], verborgen und nicht veränderbar
$U_{mean,opening}$	U-Wert für Fenster [W/(m ² .K)], nicht veränderbar
g_n	Energiedurchlassgrad für Strahlung senkrecht zur Verglasung, verborgener Parameter (siehe Tabelle 15 in Anhang 2) [-]

Die Wahl der Verschattungseinrichtung (*ShadingType* und *ShadingColor*, vgl. Tabelle 21 in Anhang 2) regelt die Variable:

f_f	Energiedurchlassgrad der Fenster mit Sonnenschutz [-]
-------	---

Die Standard-Werte für *ShadingType* und *ShadingColor* sind "kein Sonnenschutz" und "mittel". Die *ShadingColor* wird nicht dargestellt.

Die Wahl der Fensterläden (*ShutterType*, siehe Tabelle 13 in Anhang 2) beeinflusst 4 Variablen:

R_{sh}	zusätzlicher thermischer Widerstand bei einer bestimmten Luftdurchlässigkeit der Fensterläden [m ² .K/W]
ΔR_{high}	hohe oder sehr hohe Durchlässigkeit [m ² .K/W]
ΔR_{avg}	durchschnittliche Durchlässigkeit [m ² .K/W]
ΔR_{low}	niedrige Durchlässigkeit [m ² .K/W]

Diese 4 Variablen werden verborgen.

Die folgenden verwendeten Variablen werden ebenfalls verborgen:

<i>NightHeatingActivation</i>	zur Steuerung der Fensterläden; sie werden nachts geschlossen, um die Wärmeverluste im Winter durch die Fenster zu reduzieren; Standardwert entsprechend Tabelle 23 in Anhang 2.
<i>DayCoolingActivation</i>	zur Steuerung der Fensterläden; sie werden tagsüber aktiviert, um die solaren Wärmeeinträge im Sommer durch die Fenster zu reduzieren; Standardwert entsprechend Tabelle 23 in Anhang 2.
<i>FrameAreaFraction</i>	Standardwert 0,3 [-]

4.1.3.3 Bodenplatte

Folgende Parameter werden zur Definition der Bodenplatte verwendet:

U_f	U-Wert der Bodenplatte [W/(m ² .K)]
$GroundFloorType$	Art der Bodenplatte, auszuwählen aus "Bodenplatte auf Erdreich" oder "Doppelboden",
$D_{concretebasefloor}$	Dicke der Bodenplatte auf Erdreich, Standardwert 0,2 [m]
$M_{steelbasefloor}$	Masse Bewehrungsstahl, Standardwert 0 [t]

Die Bodenart (SoilType) mit verborgenem Standardwert regelt zwei Variablen:

(ρc)	Bodenwärmekapazität (siehe Tabelle 22 in Anhang 2), verborgen [J/(m ³ .K)]
λ	Bodenleitfähigkeit (siehe Tabelle 22 in Anhang 2), verborgen [W/(m.K)]

Die folgenden verwendeten Variablen werden ebenfalls verborgen:

w_{ground}	Kellerwanddicke, Standardwert 0,2 [m]
$P_{eri,custom}$	Umfang des Erdgeschosses [m]
$A_{ground,custom}$	Erdgeschossfläche [m ²]

Der Umfang und die Fläche des Erdgeschosses werden nicht angezeigt und automatisch berechnet mit:

$$P_{eri} = 2(w_b + l_b)$$

$$A_{ground} = w_b \cdot l_b$$

In Abhängigkeit der Art der Bodenplatte ($GroundFloorType$) werden folgende Parameter festgelegt, aber nicht dargestellt.

- Bodenplatte auf Erdreich
Mehrere Möglichkeiten der Randdämmung ($Edgeinsulation$): „keine“, „horizontal“, „vertikal“ oder „beides“.
Die anderen Parameter sind:

$d_{n,hor}$	Dicke der horizontalen Randdämmung [mm]
λ_{hor}	thermische Leitfähigkeit der horizontalen Randdämmung [W/(m.K)]
w_{hor}	Breite der horizontalen Randdämmung [m]
$d_{n,vert}$	Dicke der vertikalen Randdämmung [mm]
λ_{vert}	thermische Leitfähigkeit der vertikalen Randdämmung [W/(m.K)]
w_{vert}	Breite der vertikalen Randdämmung [m]
- Kellergeschoss
Das Kellergeschoss ($BasementType$) kann entweder „beheizt“ oder „unbeheizt“ sein.
Die zusätzlichen Parameter sind:

h	Wandhöhe über dem Erdboden [m]
h_z	Wandhöhe unter dem Erdboden [m]
- Doppelboden
Die Parameter zur Beschreibung eines Doppelbodens sind:

h	Wandhöhe über dem Erdboden, wie für eine Bodenplatte auf Erdreich [m]
h_z	Wandhöhe unter dem Erdboden [m]
A_{irflow}	Luftstrom, Standardwert 0,1 [ac/h]
A_{wind}	Lüftungsöffnungsfläche pro Umfangslänge, gesetzt auf 1, verborgen [m ² /m]
$w_{avg speed}$	durchschnittliche Windgeschwindigkeit bei 10 m Höhe, verborgen [m/s]

Die letzten drei Parameter sind verbunden über:

$$w_{avg speed} = \frac{A_{irflow} \cdot A_{ground} \cdot (h + h_z)}{3600 \cdot P_{eri} \cdot A_{wind}}$$

4.1.3.4 Zusätzliche Parameter

Einige weitere Parameter stehen in Zusammenhang mit der Gebäudehülle. Diese Parameter werden verborgen.

R_{se}	externer Oberflächenwiderstand, Standardwert 0,04 [m ² .K/W]
$\alpha_{s,c}$	Absorptionskoeffizient für Sonnenstrahlung, Standardwert 0,5 [-]
h_r	ext. Strahlungswärmeübergangskoeffizient, Standardwert 4,5 [W/(m ² .K)]
C_m	innere Wärmespeicherfähigkeit [J/K], berechnet über:

$$C_m = k_{m,walls} \cdot \sum_{dir} A_{lat}(dir) + k_{m,roof} \cdot A_{roof} + k_{m,ext,floor} \cdot A_{ext,floor} + k_{m,ground} \cdot A_{ground} + k_{m,interm,floor} \cdot a_{b,fl,interm} + k_{m,intern,walls} \cdot \left(Ratio_{intern,walls} \cdot \sum_{dir} A_{lat,tot}(dir) \right)$$

Mit:

$k_{m,walls}$	innere Wärmespeicherfähigkeit der Wände [J/K/m ²], Wert in Abhängigkeit von der gewählten Makro-Komponente für die Wand
$k_{m,roof}$	innere Wärmespeicherfähigkeit des Daches [J/K/m ²], Wert in Abhängigkeit von der gewählten Makro-Komponente für das Dach
$k_{m,ext,floor}$	innere Wärmespeicherfähigkeit auskragender Decken [J/K/m ²], Standardwert 50.000 J/K/m ²
$k_{m,ground}$	innere Wärmespeicherfähigkeit der Bodenplatte [J/K/m ²], Standardwert 50.000 J/K/m ²
$k_{m,interm,floor}$	innere Wärmespeicherfähigkeit der Zwischendecken [J/K/m ²], Standardwert 50.000 J/K/m ²
$k_{m,intern,walls}$	innere Wärmespeicherfähigkeit der Innenwände [J/K/m ²], Standardwert doppelt so hoch wie der Wert von $k_{m,walls}$ J/K/m ²
$Ratio_{intern,walls}$	Verhältnis der Innenwand-Flächen geteilt durch die Fassaden-Flächen, Standardwert 40%

4.1.3.5 Dach

Der Benutzer wählt die Makro-Komponenten für das Dach entsprechend Tabelle 24 in Anhang 2. Die folgenden Parameter definieren das Dach:

U_{roof}	U-Wert für Flachdach, Standardwert in Abhängigkeit von der Makro-Komponente, nicht veränderbar [W/(m ² .K)]
$A_{ext,floor}$	Fläche auskragende Decke, Standardwert 0, verborgen [m ²]
A_{roof}	Fläche flacher Teil des Daches, Standardwert anhand der Gebäudedimensionen berechnet, verborgen [m ²]
$A_{slopedroof}$	Fläche geneigter Teil des Daches, Standardwert 0, verborgen [m ²]
$A_{roof,opening}$	Fläche von Dachöffnungen, Standardwert 0, verborgen [m ²]
$F_{glazing,sh,roof}$	Verschattungsfaktor von Dachfenstern, Standardwert 0, verborgen
$U_{slopedroof}$	U-Wert für geneigtes Dach, Standardwert 0, verborgen [W/(m ² .K)]
$U_{ext,floor}$	U-Wert für auskragende Decken, Standardwert 0, verborgen [W/(m ² .K)]
$U_{floorunconditionedspace}$	U-Wert für den Boden nicht konditionierter Flächen, Standardwert 0, verborgen [W/(m ² .K)]

4.1.4 Gebäudebelegung

Die Gebäudebelegung ist in drei Perioden pro Tag eingeteilt. Ferner wird zwischen Werktagen und Wochenenden unterschieden. Letztendlich werden zwei Aspekte bei der Belegung betrachtet: Zum einen die Anwesenheit der Nutzer, zum anderen der Lichtbedarf. Die Auswahl kann für primäre konditionierte Flächen (1) und andere konditionierte Flächen (2) unterschiedlich sein.

Jede der 24 Wahlmöglichkeiten wird durch drei Größen beschrieben:

$h_{function,beg,place,Date,i}$	Startzeit [h]
$h_{function,end,place,Date,i}$	Endzeit [h]
$Gain_{function,place,Date,i}$	innerer Gewinn [h]

Mit $function \in \{\text{occupancy; light}\}$, $place \in \{\text{area 1; area 2}\}$, $Date \in \{\text{Monday to Friday; Saturday to Sunday}\}$, $i \in \{1; 2; 3\}$.

Die Standardwerte werden in Tabelle 26 bis Tabelle 29 (im Anhang 1) angegeben und sind von der Gebäudeart abhängig. Diese 24 Angaben werden verborgen.

Die Innenraumbedingungen betreffen den Nutzerkomfort und werden über vier Parameter definiert. Die Standardwerte entsprechen Tabelle 30 in Anhang 1 und sind nicht veränderbar:

$\theta_{int,set,H}$	Solltemperatur für das Heizen [°C]
$\theta_{int,set,C}$	Solltemperatur für das Kühlen [°C]
n_H	Luftstromrate für den Heizbetrieb (per m ²) [m ³ /(h.m ²)]
n_C	Luftstromrate für den Kühlbetrieb (per m ²) [m ³ /(h.m ²)]

4.1.5 Gebäudesysteme

Vier Gebäudesysteme werden berücksichtigt.

4.1.5.1 Heizsystem

Der Benutzer muss die Art des Heizsystems angeben ($\eta_{HeatingType_System}$, vgl. Tabelle 17 in Anhang 2). Diese Wahl beeinflusst die in den Berechnungen berücksichtigte Effizienz des Heizsystems:

$\eta_{HeatingEfficiencySystem}$	Effizienz des Heizsystems, verborgen in normalem Modus [-]
----------------------------------	--

Die genutzte Energie ($EnergyType_{heating}$), mit Standardwerten gemäß Tabelle 32 in Anhang 2, gibt einen Umrechnungsfaktor von End- zu Primärenergie an:

$k_{energytype,heating}$	Art der Energie (siehe Tabelle 20 in Anhang 2) [kgoe/kWh]
--------------------------	---

Diese beiden Felder werden verborgen.

Die nachstehenden Daten werden genutzt aber nicht angezeigt. Die Werte werden entsprechend Tabelle 31 aus Anhang 2 festgelegt.

$h_{beg,heating}$	Startzeit des Arbeitsprogramms [h]
$h_{end,heating}$	Endzeit des Arbeitsprogramms [h]
$NbDay_{working,heating}$	Anzahl Arbeitstage pro Woche [-]

4.1.5.2 Kühlsystem

Der Benutzer muss die Art des Kühlsystems angeben ($\eta_{CoolingType_System}$, vgl. Tabelle 18 in Anhang 2).

Diese Wahl beeinflusst die in den Berechnungen berücksichtigte Effizienz des Kühlsystems:

$\eta_{CoolingEfficiencySystem}$ Effizienz des Kühlsystems, verborgen [-]

Die genutzte Energie ($EnergyType_{cooling}$), mit Standardwerten gemäß Tabelle 32 in Anhang 2, gibt einen Umrechnungsfaktor von End- in Primärenergie an:

$k_{energytype,cooling}$ Energieart (siehe Tabelle 20) [kgoe/kWh]

Diese beiden Felder werden verborgen.

Zuletzt wird eine ähnliche verborgene Variable wie für das Heizsystem angegeben, mit Standardwerten gemäß Tabelle 33:

$NbDay_{working,cooling}$ Anzahl Arbeitstage pro Woche [-]

4.1.5.3 Lüftungssystem

Die Definition des Lüftungssystems beruht auf der Verwendung eines Wärmerückgewinnungssystems ($HeatRecovery$). In diesem Fall sind die Eigenschaften des Systems:

$HeatRecovery\%$ Anteil des Luftvolumenstroms, der durch die Wärmerückgewinnungseinheit geht, Standardwert 0,8; verborgen [-]

η_{hru} Effizienz der Wärmerückgewinnung, Standardwert 0,6; verborgen [-]

4.1.5.4 Warmwassersystem

Die Art des Warmwassersystems ($\eta_{TypeDHW}$, vgl. Tabelle 19 in Anhang 2) hängt mit seiner Effizienz zusammen:

η_{DHW} Effizienz Warmwassersystem, verborgen im Normalmodus [-]

Die genutzte Energie ($EnergyType_{DHW}$), mit Standardwerten nach Tabelle 34, wird durch einen Umrechnungsfaktor von End- zu Primärenergie geregelt:

$k_{energytype,DHW}$ Energieart (vgl. Tabelle 20) [kgoe/kWh]

Das Warmwassersystem hängt von mehreren Parametern ab:

$\theta_{w,t}$ gewünschte Wassertemperatur an der Zapfstelle, Standardwert 60, verborgen [°C]

$\theta_{w,outside}$ Wasserzulauftemperatur, Standardwert 15, verborgen [°C]

$DHW_{energyreduction}$ Anteil erneuerbare Energie für die Warmwasserbereitung, Standardwert 0, verborgen [-]

4.2 Konstanten und spezifische Parameter

Allgemeine Konstanten:

$MonthLength(m)$	Sekundenanzahl im Monat m in Megasekunden
$MonthDay(m)$	Anzahl der Tage im Monat m [-]
$NbDayWorking(m)$	Anzahl der Arbeitstage im Monat m [-]

Die nachfolgenden spezifischen Werte werden in einer bestimmten Weise behandelt. Zunächst sind sie Eingangsdaten, aber da ihre Bedeutung dem Benutzer unklar sein könnte, werden sie als Konstanten in AMECO3 behandelt.

F_w	Korrekturfaktor für nicht-streuende Verglasung [-]
f_w	Windschutzfaktor [-]
$b_{tr,U}$	Anpassungsfaktor für nicht konditionierte Bereiche [-]
$F_{r,v}$	Strahlungsfaktor für vertikales Dach [-]
$F_{r,h}$	Strahlungsfaktor für horizontale Wände [-]

Spezifische Parameter für den **Heizmodus**:

$k_{D,cor,H}$	Korrekturfaktor für Wärmeübertragung durch Transmission [-]
$k_{cor,ve,H}$	Korrekturfaktor für Wärmeübertragung durch Lüftung [-]
$k_{cor,int,H}$	Korrekturfaktor für innere Einträge [-]
$k_{cor,H}$	Korrekturfaktor für solare Wärmeeinträge [-]
a_{H0}	dimensionslose Referenz als numerischer Parameter [-]
τ_{H0}	Bezugszeitkonstante [h]
$b_{H,red}$	empirischer Korrelationsfaktor (eingestellt auf 3) [-]

Einige dieser Parameter sind abhängig vom Geiger-Klima und dem Vorhandensein einer Verschattungseinrichtung (siehe Tabelle 25).

Spezifische Parameter für den **Kühlmodus**:

$k_{D,cor,C}$	Korrekturfaktor für Wärmeübertragung durch Transmission [-]
$k_{cor,ve,C}$	Korrekturfaktor für Wärmeübertragung durch Lüftung [-]
$k_{cor,int,C}$	Korrekturfaktor für innere Gewinne [-]
$k_{cor,C}$	Korrekturfaktor für solare Wärmeeinträge [-]
a_{C0}	dimensionslose Referenz als numerischer Parameter [-]
τ_{C0}	Bezugszeitkonstante [h]
$b_{C,red}$	empirischer Korrelationsfaktor (eingestellt auf 3) [-]

Einige dieser Parameter sind abhängig vom Geiger-Klima und dem Vorhandensein einer Verschattungseinrichtung (siehe Tabelle 25).

Konstanten für die Warmwasserproduktion:

In Übereinstimmung mit EN15316-3-1 wurden die folgenden drei Konstanten definiert (Wohngebäude).

$$X = 62 \text{ [l/(Tag und m}^2\text{)]}$$

$$Y = 160 \text{ [l/(Tag und m}^2\text{)]}$$

$$Z = 2 \text{ [l/(Tag und m}^2\text{)]}$$

4.3 Berechnung der Umweltwirkungen einer Konstruktion

4.3.1 Grundlagen

Die von AMECO verwendete Methode ermittelt 24 Umweltindikatoren, die jeweils auf vier Module aufgeteilt werden:

- Modul A: Produkt- und Bauphase
- Modul B: Nutzungsphase
- Modul C: Lebensende
- Modul D: Gutschriften und Lasten außerhalb der Systemgrenzen

Die 24 Indikatoren werden mit den gleichen Formeln ermittelt. Die einzigen Unterschiede sind die Werte der Koeffizienten. Alle Koeffizienten werden in den Tabellen 2 und 3 angegeben.

Die Bezeichnung jedes Koeffizienten wird in Tabelle 2 genannt und die Werte werden in den folgenden Absätzen angegeben. Die Werte aller in diesem Kapitel definierten Parameter können von AMECO angezeigt werden. Alle Parameter dieses Kapitels haben die gleichen Werte für Gebäude und Brücken. Sie sind nicht veränderbar.

In AMECO werden Wirkungskoeffizienten für 10 Indikatoren definiert. Für die anderen 14 Indikatoren werden sie auf null gesetzt.

Berücksichtigter Einflusskoeffizient	Bezeichnung
RER: Stahlblech worldsteel	$k_{RERStPI}$
RER: Stahlprofil worldsteel	$k_{RERStSec}$
GLO: Bewehrungsstahl worldsteel	k_{GLOSt}
RER: Stahl feuerverzinkt worldsteel	$K_{RERStHDG}$
DE: Beton C20/25 PE	$k_{DEConC20}$
DE: Beton C30/37 PE	$k_{DEConC30}$
DE: Brettschichtholz PE [für 1kg]	k_{DEW}
GLO: Schrottwert worldsteel	k_{GLO}
Rückbau Stahlgebäude - Einfluss für Behandlung von 1kg	$k_{StBldgDem}$
CH: Entsorgung, Gebäude, Beton, unbewehrt, zur Deponierung	k_{CHCon}
CH: Entsorgung, Gebäude, Bewehrungsstahl, zur Deponierung	k_{CHSt}
CH: Entsorgung, Gebäude, Beton, unbewehrt, zur Sortieranlage [inkl. 40% zur Mülldeponie]	$k_{CHConPlt}$
CH: Entsorgung, Gebäude, Bewehrungsstahl, zur Sortieranlage	$k_{CHStPlt}$
CH: Entsorgung, Beton, 5% Wasser, zur Inertstoffdeponie	$k_{CHConLdf}$
CH: Kies, nicht spezifiziert, an der Mine	k_{CHGr}
RER: Deponie für inerte Materialien (Stahl) PE	$k_{RERStLdf}$
EU-27: Abfallverbrennung von Holzprodukten (OSB, Spanplatten) ELCD/CEWEP <p-agg> [1kg Holz]	k_{EUWWa}
Gutschrift für die Abfallverbrennung (agg minus p-agg)	k_{Wa}
EU-27: Deponierung von Holzprodukten (OSB, Spanplatten) PE <p-agg>	k_{EUWLdf}
CH: Entsorgung, inerte Materialien, 0% Wasser, zur Mülldeponie	k_{CHLdf}
RER: Sattelzug-Transport PE [für 1tkm]	k_{RERALT}
Transport per Zug [für 1tkm]	k_{Tr}
Transport per Betonmischmaschine [für 100kgkm]	k_{Cont}
durchschnittlicher europäischer Transport für Stahl [für 1t über eine durchschnittliche Distanz]	k_{StAvg}

EU-27: Stromnetz-Mix PE [1kWh]	k_{EUElec}
Rückgewinnung elektrischer Energie	k_{EOR}
RER: Stahlblech worldsteel (Schrotteinsatz)	$k_{RERStPIO}$
RER: Stahlprofile worldsteel (Schrotteinsatz)	$k_{RERStSec0}$
RER: Stahl feuerverzinkt worldsteel (Schrotteinsatz)	$k_{RERStHDGO}$
GLO: Bewehrungsstahl worldsteel (Schrotteinsatz)	k_{GLOSt0}

Tabelle 2: Bezeichnung der Koeffizienten

Die Abkürzungen in Tabelle 2 stehen für:

- GLO: Global (Durchschnitt)
- DE: Deutschland (Durchschnitt)
- CH: Schweiz (Durchschnitt)
- RER: Europa (Durchschnitt)

Die letzten 5 Wirkungskoeffizienten (keine Einheit) haben den gleichen Wert für alle Wirkungsindikatoren:

k_{EOR}	8,865E-01
$k_{RERStPIO}$	1,125E-01
$k_{RERStSec0}$	8,492E-01
$k_{RERStHDGO}$	9,162E-02
k_{GLOSt0}	6,983E-01

Tabelle 3: Werte der Eingangskoeffizienten für Schrott

4.3.1.1 Parameter zur Beschreibung der Umweltwirkungen

Tabelle 4 enthält die Werte der Koeffizienten für die Indikatoren GWP, ODP, AP, EP, POCP, ADP_{Stoffe} und $ADP_{fossile\ Brennstoffe}$.

	GWP	ODP	AP	EP	POCP	APD-S	ADP-fB
	t CO ₂ -Äqv. / t	t CFC-Äqv. / t	t SO ₂ -Äqv. / t	t Ethen-Äqv. / t	t PO ₄ -Äqv. / t	t Sb-Äqv. / t	GJ u. Hw. / t
$k_{RERStPI}$	2,458E+00	9,112E-09	6,229E-03	4,424E-04	1,170E-03	5,396E-07	2,538E+01
$k_{RERStSec}$	1,143E+00	4,948E-08	3,158E-03	2,706E-04	5,051E-04	-7,001E-06	1,239E+01
k_{GLOSt}	1,244E+00	1,110E-08	3,533E-03	2,802E-04	5,494E-04	-2,103E-06	1,349E+01
$k_{RERStHDG}$	2,556E+00	3,726E-08	6,980E-03	4,486E-04	1,243E-03	2,318E-05	2,621E+01
$k_{DEConC20}$	9,883E-02	5,635E-11	1,485E-04	2,610E-05	1,740E-05	1,553E-07	4,626E-01
$k_{DEConC30}$	1,114E-01	6,562E-11	1,524E-04	2,553E-05	1,778E-05	1,867E-07	4,545E-01
k_{DEW}	-1,185E+00	1,347E-09	1,179E-03	1,418E-04	1,243E-04	1,317E-07	7,670E+00
k_{GLO}	1,512E+00	-4,834E-08	3,610E-03	9,974E-05	8,072E-04	7,272E-06	1,598E+01
$k_{StBldgDem}$	8,810E-04	3,251E-12	9,345E-06	1,193E-06	8,336E-07	3,461E-10	1,212E-01
k_{CHCon}	1,401E-02	3,098E-09	8,901E-05	2,551E-05	1,590E-05	1,448E-08	2,771E-01
k_{CHSt}	6,732E-02	9,741E-09	4,988E-04	1,387E-04	7,727E-05	2,544E-08	1,017E+00
$k_{CHConPlt}$	1,398E-02	2,527E-09	3,581E-04	2,831E-05	1,456E-05	1,956E-08	2,398E-01
$k_{CHStPlt}$	6,139E-02	7,782E-09	4,629E-04	1,295E-04	6,945E-05	2,279E-08	8,537E-01
$k_{CHConLdf}$	7,102E-03	2,128E-09	4,226E-05	1,223E-05	8,602E-06	7,345E-09	1,785E-01
k_{CHGr}	2,824E-03	3,257E-10	1,760E-05	6,317E-06	2,284E-06	9,374E-09	3,626E-02
$k_{RERStLdf}$	1,396E-02	1,368E-11	8,491E-05	1,163E-05	8,972E-06	4,949E-09	1,865E-01
k_{EUWWa}	1,671E+00	2,920E-09	6,252E-04	1,428E-04	4,099E-05	-4,267E-08	5,289E-01
k_{Wa}	-7,514E-01	-7,786E-08	-4,946E-03	-2,013E-04	-2,622E-04	-3,164E-08	-8,651E+00
k_{EUWLdf}	1,455E+00	2,606E-10	4,386E-04	1,878E-03	3,408E-04	1,370E-08	1,082E+00
k_{CHLdf}	1,228E-02	3,091E-09	7,480E-04	2,565E-05	1,382E-05	1,490E-08	2,781E-01
k_{RERALT}	4,714E-02	1,749E-11	3,085E-04	7,432E-05	-1,260E-04	1,861E-09	6,515E-01
k_{Tr}	1,711E-02	8,846E-10	8,593E-05	9,950E-06	7,298E-06	1,250E-09	2,036E-01
k_{Cont}	1,201E-02	4,452E-12	7,527E-05	1,806E-05	-3,035E-05	4,739E-10	1,659E-01
k_{StAvg}	2,422E+01	1,328E-07	1,548E-01	3,578E-02	-5,727E-02	1,037E-06	3,301E+02
k_{EUElec}	4,887E-01	3,192E-08	2,083E-03	1,118E-04	1,267E-04	4,007E-08	5,569E+00

Tabelle 4: Werte der Umwelt-Koeffizienten

4.3.1.2 Parameter zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes

Tabelle 5 beinhaltet Werte der Koeffizienten für drei Indikatoren:

- Gesamteinsatz erneuerbarer Primärenergie (Primärenergie und die als Rohstoff verwendeten erneuerbaren Primärenergieträger) [RPE-Total].
- Gesamteinsatz nicht erneuerbarer Primärenergie (Primärenergie und die als Rohstoff verwendeten nicht erneuerbaren Primärenergieträger) [Non RPE-Total].
- Nettoeinsatz von Süßwasserressourcen [NFW].

	RPE-Total	Non RPE total	NFW
	GJ u. Hw. / t	GJ u. Hw. / t	10 ³ m ³ / t
$k_{RERStPI}$	2,987E-01	2,577E+01	1,352E-02
$k_{RERStSec}$	6,107E-01	1,419E+01	1,332E-03
k_{GLOSt}	2,362E+00	1,406E+01	1,387E-02
$K_{RERStHDG}$	5,477E-01	2,768E+01	1,586E-02
$k_{DEConC20}$	3,458E-02	5,084E-01	3,208E-04
$k_{DEConC30}$	3,692E-02	5,077E-01	3,225E-04
k_{DEW}	1,855E+01	8,766E+00	6,636E-01
k_{GLO}	-8,226E-01	1,423E+01	1,307E-02
$k_{StBldgDem}$	4,747E-03	1,216E-01	1,228E-04
k_{CHCon}	2,259E-03	2,879E-01	1,264E-02
k_{CHSt}	5,325E-03	1,043E+00	3,083E-02
$k_{CHConPlt}$	8,531E-03	2,821E-01	4,905E-02
$k_{CHStPlt}$	9,525E-03	9,019E-01	5,568E-02
$k_{CHConLdf}$	1,464E-03	1,855E-01	7,997E-03
k_{CHGr}	6,248E-03	6,613E-02	3,753E-02
$k_{RERStLdf}$	1,450E-02	1,960E-01	2,788E-04
k_{EUWWa}	1,618E-02	6,576E-01	4,269E-03
k_{Wa}	-1,063E+00	-1,172E+01	-1,042E-03
k_{EUWLdf}	4,911E-02	1,134E+00	3,901E-02
k_{CHLdf}	4,758E-03	3,005E-01	3,552E-04
k_{RERALT}	2,553E-02	6,539E-01	6,604E-04
k_{Tr}	3,643E-02	2,858E-01	1,561E-04
k_{Cont}	6,499E-03	1,665E-01	1,681E-04
k_{StAvg}	1,694E+01	3,428E+02	3,275E-01
k_{EUElec}	1,246E+00	8,534E+00	3,829E-03

Tabelle 5: Koeffizienten für Ressourcen, Sekundärmaterialien, Brennstoffe und Wasserverbrauch

Aufgrund von Datenlücken werden die Koeffizienten der folgenden Indikatoren auf null gesetzt (das führt zu einer Umweltwirkung von Null):

- Einsatz erneuerbarer Primärenergie, ohne die erneuerbaren Primärenergieträger, die als Rohstoffe verwendet werden [RPE].
- Einsatz der als Rohstoff verwendeten erneuerbaren Primärenergieträger [RER].
- Einsatz nicht erneuerbarer Primärenergie, ohne die nicht erneuerbaren Primärenergieträger, die als Rohstoffe verwendet werden [Non-RPE].
- Einsatz der als Rohstoff verwendeten nicht erneuerbaren Primärenergieträger [Non-RER].
- Einsatz von Sekundärstoffen [SM].
- Einsatz von erneuerbaren Sekundärbrennstoffen [RSF].
- Einsatz von nicht erneuerbaren Sekundärbrennstoffen [Non-RSF].

4.3.1.3 Andere Umweltinformationen, die verschiedene Abfallkategorien beschreiben

Tabelle 6 beinhaltet die Werte der Koeffizienten für die folgenden Indikatoren:

- gefährliche Abfälle zur Deponierung
- entsorgte nicht gefährliche Abfälle
- entsorgter radioaktiver Abfall

	gefährliche Abfälle zur Deponierung	entsorgte nicht gefährliche Abfälle	entsorgter radioaktiver Abfall
	t / t	t / t	t / t
$k_{RERStPI}$	-6,239E-04	-1,306E-03	-1,663E-04
$k_{RERStSec}$	-5,212E-04	-8,676E-04	-3,832E-04
k_{GLOSt}	-2,460E-04	-1,186E-04	-1,428E-04
$k_{RERStHDG}$	-4,771E-04	-6,745E-04	-4,717E-04
$k_{DEConC20}$	0,000E+00	0,000E+00	-1,859E-05
$k_{DEConC30}$	0,000E+00	0,000E+00	-2,164E-05
k_{DEW}	0,000E+00	1,483E+00	4,461E-04
k_{GLO}	-1,536E-05	-3,524E-06	5,177E-04
$k_{StBldgDem}$	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
k_{CHCon}	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
k_{CHSt}	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
$k_{CHConPlt}$	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
$k_{CHStPlt}$	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
$k_{CHConLdf}$	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
k_{CHGr}	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
$k_{RERStLdf}$	0,000E+00	1,000E+00	-3,459E-06
k_{EUWWa}	0,000E+00	-6,430E-02	-3,659E-05
k_{Wa}	0,000E+00	1,940E+00	9,767E-04
k_{EUWLdf}	0,000E+00	4,813E-01	-1,972E-05
k_{CHLdf}	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
k_{RERALT}	0,000E+00	0,000E+00	-9,099E-07
k_{Tr}	0,000E+00	0,000E+00	-3,383E-05
k_{Cont}	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
k_{StAvg}	0,000E+00	0,000E+00	-5,190E-03
k_{EUElec}	0,000E+00	-1,827E+00	-1,220E-03

Tabelle 6: Werte für andere Umweltinformationen, die verschiedene Abfallkategorien beschreiben

4.3.1.4 Sonstige Umweltinformationen, die Output-Stoffflüsse beschreiben

Die Koeffizienten für die folgenden vier Indikatoren sind unbekannt und in AMECO3 auf null gesetzt:

- Komponenten für die Wiederverwendung
- Stoffe zum Recycling
- Stoffe für die Energierückgewinnung
- exportierte Energie

4.3.2 Umweltwirkung eines Gebäudes

4.3.2.1 Modul A

Die Formeln für die Berechnung der Umweltwirkungen für Modul A sind:

Modul A			
Produktphase	A1 Rohstoff- bereitstellung	Beton in Decken/Böden	$m_{consl} k_{DECon}$
		Stahlbleche	$m_{tss} k_{RERStHDG}$
		Beton im Tragwerk	$(m_{tcb} + m_{tcc}) k_{DECon}$
		Stahlbewehrung	$(m_{conrs} + m_{trs}) k_{GLOSt}$
		Stahlträger	$m_{tsb} (1 + S_{plos}) k_{RERStSec}$
		Stahlstützen	$m_{tsc} (1 + S_{plos}) k_{RERStSec}$
		Holzträger	$m_{twb} k_{DEW}$
		Holzstützen	$m_{twc} k_{DEW}$
	A3 Herstellung	Produktionsverluste	$(m_{tsb} + m_{tsc}) S_{plos} k_{RERALT} / 10$
		Stahlschrauben und -bolzen	$(m_{tst} + m_{tbo}) k_{GLOSt}$
Blechverbindungen		$m_{tpl} k_{RERStPI}$	
A1-A3	Makro-Komponente		
Bauphase	A4 Transport	Beton - Mischwagen	$m_{conmix} d_{conmix} k_{Cont} / 100$
		Beton - LKW	$m_{conreg} d_{conreg} k_{RERALT} / 1000$
		Stahl - LKW	$m_{sreg} d_{sreg} k_{RERALT} / 1000$
		Stahl - Zug	$m_{str} d_{str} k_{Tr} / 1000$
		Stahl - durchschn. Transport	$m_{tstrtot} k_{StAvg}$
		Holz - Zug	$m_{wtr} d_{wtr} k_{Tr} / 1000$
		Holz - LKW	$m_{wreg} d_{wreg} k_{RERALT} / 1000$
		Makro-Komponente	
Summe Modul A			Summe aller Mengen in Modul A

Tabelle 7: Umweltwirkungen für Modul A

In dieser Tabelle zeigen die hervorgehobenen Formeln die im Rahmen des LVS3-Projektes geänderten oder hinzugefügten Formeln.

In Bezug auf die hinzugefügten Parameter für die Bodenplatte wurden folgende Formeln angepasst:

Summe Betongewicht $m_{consl,LVS3}$:

$$m_{consl,LVS3} = m_{consl} + D_{concretebasefloor} A_{ground} \cdot \rho_{consl}$$

Masse Bewehrungsstahl:

$$(m_{conrs} + m_{trs} + M_{steelbasefloor}) k_{GLOSt}$$

Ein zusätzlicher Teil wird für die Produktionsphase berücksichtigt:

$$Macro - component_{A1-A3} = \sum_{dir} A_{lat}(dir) \cdot k_{A1-A3,wall} + \sum_{dir} A_{lat,opening}(dir) \cdot k_{A1-A3,opening}$$

Die Summe des transportierten Stahls $m_{tstrtot,LVS3}$ ist nun:

$$m_{tstrtot,LVS3} = m_{tstrtot} + M_{steelbasefloor}$$

Ein zusätzlicher Teil wird für die Bauphase berücksichtigt:

$$\text{Macro – component}_{A4} = \sum_{dir} A_{lat}(dir) \cdot k_{A4,wall} + \sum_{dir} A_{lat,opening}(dir) \cdot k_{A4,opening}$$

Die Werte von $k_{A1-A3,wall}$, $k_{A4,wall}$, $k_{A1-A3,opening}$ und $k_{A4,opening}$ werden in Anhang 4 angegeben.

4.3.2.2 Modul B

Die Berechnung der Nutzungsphase erfolgt in mehreren Schritten. Der erste Schritt widmet sich der Berechnung der Eigenschaften der Bodenplatte.

Danach werden der Energiebedarf für die Raumheizung und dazugehörige solare Wärmeeinträge berechnet.

Eine vergleichbare Prozedur wird für die Raumkühlung und dazugehörige solare Wärmeeinträge durchgeführt.

Der nächste Schritt bezieht sich auf das Warmwassersystem.

Der letzte Teil führt alle diese Berechnungen zusammen.

4.3.2.2.1 Beurteilung der Eigenschaften der Bodenplatte (ISO 13370)

Ziel dieses Abschnittes ist es, H_g , H_{pi} , H_{pe} , α und β zu berechnen.

Unabhängig von der Art der Bodenplatte (*GroundFloorType*) werden die folgenden Variablen angenommen:

$$B' = \frac{A_{ground}}{0,5P_{eri}}$$

$$d_{ground} = w_{ground} + \frac{\lambda}{U_f}$$

$$\delta = \sqrt{\frac{3,15 \cdot 10^7 \lambda}{\pi(\rho c)}}$$

$$U_g = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi B' + d_{ground}} \cdot \ln\left(1 + \frac{\pi B'}{d_{ground}}\right)$$

- Da die Innentemperatur als konstant angenommen wird, gilt:

$$H_{pi} = 0$$

- Außerdem ist der Wert von α eindeutig:

$$\alpha = 0$$

Die anderen Angaben sind abhängig von der **Art der Bodenplatte**.

- **Bodenplatte auf Erdreich**

- β wird auf 1 gesetzt für Bodenplatten auf Erdreich:

$$\beta = 1$$

H_g Berechnung:

$$U = \begin{cases} U_g & \text{wenn } d_{\text{ground}} < B' \\ \frac{\lambda}{0,457B' + d_{\text{ground}}} & \text{sonstige} \end{cases}$$

Dies führt zu:

$$H_g = U \cdot A_{\text{ground}}$$

H_{pe} Berechnung

$$d'_{n,hor} = \left(\frac{\lambda}{\lambda_{hor}} - 1 \right) \cdot d_{n,hor} \cdot 10^{-3}$$

$$d'_{n,vert} = \left(\frac{\lambda}{\lambda_{vert}} - 1 \right) \cdot d_{n,vert} \cdot 10^{-3}$$

$$H_{pe,hor} = 0,37P_{eri} \cdot \lambda \cdot \left[\left(1 - \exp\left(-\frac{w_{hor}}{\delta}\right) \right) \cdot \ln\left(1 + \frac{\delta}{d_{\text{ground}} + d'_{n,hor}}\right) + \exp\left(-\frac{w_{hor}}{\delta}\right) \cdot \ln\left(1 + \frac{\delta}{d_{\text{ground}}}\right) \right]$$

$$H_{pe,vert} = 0,37P_{eri} \cdot \lambda \cdot \left[\left(1 - \exp\left(-\frac{2 \cdot w_{vert}}{\delta}\right) \right) \cdot \ln\left(1 + \frac{\delta}{d_{\text{ground}} + d'_{n,vert}}\right) + \exp\left(-\frac{2 \cdot w_{vert}}{\delta}\right) \cdot \ln\left(1 + \frac{\delta}{d_{\text{ground}}}\right) \right]$$

$$H_{pe} = \begin{cases} 0,37P_{eri} \cdot \lambda \cdot \ln\left(1 + \frac{\delta}{d_{\text{ground}}}\right) & \text{wenn Randdämmung = keine} \\ H_{pe,hor} & \text{wenn Randdämmung = horizontal} \\ H_{pe,vert} & \text{wenn Randdämmung = vertikal} \\ \min(H_{pe,hor}; H_{pe,vert}) & \text{sonstige} \end{cases}$$

- **Kellergeschoss**

- β wird auf 1 gesetzt für das Kellergeschoss:

$$\beta = 1$$

H_g Berechnung

$$U_{bf} = \begin{cases} \frac{2\lambda}{\pi B' + d_{\text{ground}} + 0,5h_z} \ln\left(1 + \frac{\pi B'}{d_{\text{ground}} + 0,5h_z}\right) & \text{wenn } d_{\text{ground}} + 0,5h_z < B' \\ \frac{\lambda}{0,457B' + d_{\text{ground}} + 0,5h_z} & \text{sonstige} \end{cases}$$

$$d_w = \frac{\lambda}{U_{walls}}$$

$$U_{bw} = \begin{cases} \frac{2\lambda}{\pi h_z} \cdot \left(1 + 0,5 \frac{d_w}{d_w + h_z}\right) \cdot \ln\left(1 + \frac{h_z}{d_w}\right) & \text{wenn } d_w < d_{\text{ground}} \\ \frac{2\lambda}{\pi h_z} \cdot \left(1 + 0,5 \frac{d_{\text{ground}}}{d_{\text{ground}} + h_z}\right) \cdot \ln\left(1 + \frac{h_z}{d_{\text{ground}}}\right) & \text{sonstige} \end{cases}$$

$$V = A_{ground} \cdot (h + h_z)$$

$$U'_H = \frac{1}{\frac{1}{U_f} + \frac{A_{ground}}{A_{ground} \cdot U_{bf} + h_z \cdot P_{eri} \cdot U_{bw} + h \cdot P_{eri} \cdot U_{walls} + 0,33n_H \cdot V}}$$

$$U'_C = \frac{1}{\frac{1}{U_f} + \frac{A_{ground}}{A_{ground} \cdot U_{bf} + h_z \cdot P_{eri} \cdot U_{bw} + h \cdot P_{eri} \cdot U_{walls} + 0,33n_C \cdot V}}$$

$$H_g = \begin{cases} U'_H \cdot A_{ground} & \text{wenn Kellergeschossart = beheizt} \\ U'_C \cdot A_{ground} & \text{wenn Kellergeschossart = unbeheizt und für die Heizberechnung} \\ & \text{wenn Kellergeschossart = unbeheizt und für die Kühlberechnung} \end{cases}$$

H_{pe} Berechnung

$$H_{pe} = \begin{cases} 0,37P_{eri} \cdot \lambda \cdot \left[\exp\left(\frac{-h_z}{\delta}\right) \cdot \ln\left(1 + \frac{\delta}{d_{ground}}\right) + 2 \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{-h_z}{\delta}\right)\right) \cdot \ln\left(1 + \frac{\delta}{d_w}\right) \right] & \text{wenn Kellergeschossart} \\ & \text{= beheizt} \\ A_{ground} \cdot U_f \cdot \frac{0,37P_{eri} \cdot \lambda \cdot \left(2 - \exp\left(\frac{-h_z}{\delta}\right)\right) \cdot \ln\left(1 + \frac{\delta}{d_{ground}}\right) + h \cdot P_{eri} \cdot U_{walls} + 0,33n_H \cdot V}{\frac{(A_{ground} + h_z \cdot P_{eri}) \cdot \lambda}{\delta} + h \cdot P_{eri} \cdot U_{walls} + 0,33n_H \cdot V + A_{ground} \cdot U_f} & \text{wenn} \\ & \text{Kellergeschossart = unbeheizt und zur Heizberechnung} \\ A_{ground} \cdot U_f \cdot \frac{0,37P_{eri} \cdot \lambda \cdot \left(2 - \exp\left(\frac{-h_z}{\delta}\right)\right) \cdot \ln\left(1 + \frac{\delta}{d_{ground}}\right) + h \cdot P_{eri} \cdot U_{walls} + 0,33n_C \cdot V}{\frac{(A_{ground} + h_z \cdot P_{eri}) \cdot \lambda}{\delta} + h \cdot P_{eri} \cdot U_{walls} + 0,33n_C \cdot V + A_{ground} \cdot U_f} & \text{wenn} \\ & \text{Kellergeschossart = unbeheizt und für die Kühlberechnung} \end{cases}$$

- **Doppelböden**

- β ist auf null gesetzt für Doppelböden:

$$\beta = 0$$

H_g Berechnung

$$U_x = \frac{2 \cdot h \cdot U_{walls}}{B'} + \frac{1450 \cdot A_{wind} \cdot w_{avgspeed} \cdot f_w}{B'}$$

$$U_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g}}$$

$$H_g = U_{eq} \cdot A_{ground}$$

H_{pe} Berechnung

$$H_{pe} = U_f \cdot \frac{0,37P_{eri} \cdot \lambda \cdot \ln \left(1 + \frac{\delta}{d_{ground}} \right) + U_x \cdot A_{ground}}{\frac{\lambda}{\delta} + U_x + U_f}$$

4.3.2.2.2 Energiebedarf für Raumheizung und solare Wärmeeinträge

Die Berechnung des Energiebedarfs und solarer Wärmeeinträge ist für die Heizung und Kühlung sehr ähnlich. Nur ein paar Formeln weichen voneinander ab, und manche Variablen haben bestimmte Werte in Abhängigkeit vom berücksichtigten Modus. Daher basieren die Berechnungen in AMECO3 auf demselben Modul und die Besonderheiten jedes Modus werden beachtet.

- **Vorbereitungen**

Vor der Berechnung des Energiebedarfs für die Raumheizung werden die Mengenangaben für den Heizmodus festgelegt. Diese sind:

$$H_g = H_{g,H}$$

$$H_{pi} = H_{pi,H}$$

$$H_{pe} = H_{pe,H}$$

$$\bar{\theta}_i = \theta_{int,set,H}$$

$$k_{D,cor} = k_{D,cor,H}$$

$$k_{cor,ve} = k_{cor,ve,H}$$

$$k_{cor,int} = k_{cor,int,H}$$

$$k_{cor} = k_{cor,H}$$

$$f_{shut}(m) = f_{H,shut}(m)$$

$$AFR_{floor} = n_H$$

$$a_0 = a_{H0}$$

$$\tau_0 = \tau_{H0}$$

$$b_{red} = b_{H,red}$$

$$\eta_{EfficiencySystem} = \eta_{HeatingEfficiencySystem}$$

$$k_{energytype} = k_{energytype,heating}$$

- **Wärmeübertragung durch Transmission**

Die folgenden Formeln beziehen sich auf die Wärmeübertragung in das Erdreich.

Die durchschnittliche Jahresaußentemperatur ist:

$$\bar{\theta}_e = \sum_m \frac{\theta_{ext}(m)}{12}$$

Die Schwankungen der Monatsmitteltemperatur sind:

$$\hat{\theta}_i = 0$$

$$\hat{\theta}_e = \frac{\max(\theta_{ext}(m)) - \min(\theta_{ext}(m))}{2}$$

Und die monatlichen Durchschnittstemperaturen für den Monat m folgen:

$$\theta_i(m) = \bar{\theta}_i - \hat{\theta}_i \cdot \cos\left(2\pi \frac{m - \tau_m}{12}\right)$$

$$\theta_e(m) = \bar{\theta}_e - \hat{\theta}_e \cdot \cos\left(2\pi \frac{m - \tau_m}{12}\right)$$

Wobei τ_m der Monatsindex ist, bei dem die Außentemperatur am niedrigsten ist.

Der monatliche Wärmestrom ist:

$$\phi(m) = H_g \cdot (\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e) - H_{pi} \hat{\theta}_i \cdot \cos\left(2\pi \frac{m - \tau_m + \alpha}{12}\right) + H_{pe} \hat{\theta}_e \cdot \cos\left(2\pi \frac{m - \tau_m - \beta}{12}\right)$$

Dies führt zum monatlichen Wärmekoeffizienten für das Erdreich:

$$H_g(m) = \frac{\phi(m)}{\theta_i(m) - \theta_e(m)}$$

Abschließend wird die Summe des Wärmetransports ins Erdreich ermittelt:

$$Q_{tr,g}(m) = \frac{24}{1000} \cdot \phi(m) \cdot MonthDay(m) \text{ [kWh]}$$

Der Wärmetransport durch Transmission wird für mehrere Teile der Gebäudehülle ermittelt. Dazu gehören die Wände, die Verglasung, das Dach, auskragende Decken sowie die Bodenplatte.

Wände

$$A_{lat} = \sum_{dir} A_{lat}(dir)$$

Bei Verwendung der Gesamtmantelfläche wird der Wärmeübertragungskoeffizient der Wand durch Transmission berechnet mit:

$$H_{D,walls} = U_{walls} \cdot A_{lat} \cdot k_{D,cor}$$

Und die gesamte Wärmeübertragung der Wände durch Transmission:

$$Q_{tr,walls}(m) = \frac{H_{D,walls}}{3.6} (\bar{\theta}_i - \theta_{ext}(m)) \cdot MonthLength(m) \text{ [kWh]}$$

Fenster

$$A_{lat,opening} = \sum_{dir} A_{lat,opening}(dir)$$

$$U_{W+shut,0} = \frac{1}{\frac{1}{U_{mean,opening}} + R_{sh} + \Delta R_{avg}}$$

$$U_{W+shut}(m) = U_{W+shut,0} \cdot f_{shut}(m) + U_{mean,opening} \cdot (1 - f_{shut}(m))$$

Also ist der Wärmeübertragungskoeffizient der Fenster durch Transmission:

$$H_{D,glazing}(m) = \begin{cases} U_{W+shut}(m) \cdot A_{lat,opening} \cdot k_{D,cor} & \text{wenn } NightHeatingActivation = Ja \\ U_{mean,opening} \cdot A_{lat,opening} \cdot k_{D,cor} & \text{sonstige} \end{cases}$$

Und die damit verbundene Gesamtwärmeübertragung der Fenster durch Transmission:

$$Q_{tr,glazing}(m) = \frac{H_{D,glazing}(m)}{3.6} (\bar{\theta}_i - \theta_{ext}(m)) \cdot MonthLength(m) \text{ [kWh]}$$

Auskragende Decken und Sockelgeschoss

Die Formel für den Wärmeübertragungskoeffizienten durch Transmission der auskragenden Decken ist:

$$H_{D,ext,floor} = U_{ext,floor} \cdot A_{ext,floor} \cdot k_{D,cor}$$

Also folgt die Gesamtwärmeübertragung durch Transmission:

$$Q_{tr,ext,floor}(m) = \frac{H_{D,ext,floor}}{3.6} (\bar{\theta}_i - \theta_{ext}(m)) \cdot MonthLength(m) \text{ [kWh]}$$

Die Gesamtwärmeübertragung durch Transmission zum Erdreich beträgt:

$$Q_{tr,ground}(m) = Q_{tr,g}(m) \cdot k_{D,cor} \text{ [kWh]}$$

Dach

Die Wärmeübertragungskoeffizienten durch Transmission für das Dach werden wie die anderen Koeffizienten ermittelt:

$$H_{D,roof} = U_{roof} \cdot A_{roof} \cdot k_{D,cor}$$

$$H_{D,pitchedroof} = U_{slopedroof} \cdot A_{slopedroof} \cdot b_{tr,U} \cdot k_{D,cor}$$

Die Formeln für die Gesamtwärmeübertragung durch Transmission für das Dach sind:

$$Q_{tr,roof}(m) = \frac{H_{D,roof}}{3.6} (\bar{\theta}_i - \theta_{ext}(m)) \cdot MonthLength(m) \text{ [kWh]}$$

$$Q_{tr,pitchedroof}(m) = \frac{H_{D,pitchedroof}}{3.6} (\bar{\theta}_i - \theta_{ext}(m)) \cdot MonthLength(m) \text{ [kWh]}$$

Die gesamte Wärmeübertragung durch Transmission wird dann berechnet mit:

$$Q_{tr}(m) = Q_{tr,walls}(m) + Q_{tr,glazing}(m) + Q_{tr,ext,floor}(m) + Q_{tr,roof}(m) + Q_{tr,ground}(m) + Q_{tr,pitchedroof}(m) \quad [\text{kWh}]$$

Die Wärmeübertragungskoeffizienten durch Transmission in das Erdreich und zu nicht konditionierten Bereichen werden abgeschätzt mit:

$$H_{g,cor}(m) = H_g(m) \cdot k_{D,cor}$$

$$H_u = A_{slopedroof} \cdot U_{unconditionedarea} \cdot b_{tr,U} \cdot k_{D,cor}$$

Der aufsummierte Wärmeübertragungskoeffizient durch Transmission wird berechnet mit:

$$H_D(m) = H_{D,walls} + H_{D,glazing}(m) + H_{D,ext,floor} + H_{D,roof}$$

$$H_{tr,adj}(m) = H_D(m) + H_{g,cor}(m) + H_u$$

• Wärmeübertragung durch Lüftung

Die Wärmeübertragung durch Lüftung umfasst die folgenden Formeln:

Luftdurchsatz (m^3/s):

$$q_{ve,k} = \frac{AFR_{floor} \cdot h_{floor} \cdot A_{conditionedarea}}{3600}$$

Temperaturanpassungsfaktor:

$$b_{ve,k} = \begin{cases} 1 & \text{wenn Wärmerückgewinnung} = \text{NEIN} \\ 1 - \frac{\text{HeatRecovery}\%}{100} \cdot \eta_{hru} & \text{sonstige} \end{cases}$$

Zeitmittel Luftdurchsatz (m^3/s):

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

Mit dem zeitlichen Anteil des Betriebs vom Luftvolumenstromelement für einen Tag von:

$$f_{ve,t,k} = 1 - \frac{\text{HeatRecovery}\%}{100}$$

Dieser Koeffizient variiert von 0,99 bis 1,0 weil η_{hru} zwischen 0 und 1 liegt.

Also ist der Lüftungswärmetransferkoeffizient:

$$H_{ve,adj} = 1200 \cdot b_{ve,k} \cdot q_{ve,k,mn}$$

Und die damit verbundene gesamte Wärmeübertragung durch Lüftung folgt:

$$Q_{ve}(m) = \frac{H_{ve,adj}}{3.6} (\bar{\theta}_i - \theta_{ext}(m)) \cdot \text{MonthLength}(m) \cdot k_{cor,ve} \quad [\text{kWh}]$$

- **Innere Wärmeeinträge**

Innere Wärmeeinträge werden mit der gleichen Methode berechnet, die auch für Einträge aus der Anwesenheit der Benutzer, den technischen Geräten und der Beleuchtung angewendet wird.

Einige Zwischengrößen werden eingeführt:

$$\begin{aligned} PartA = A_{area1} \cdot & \left[h_{occ,beg,kitch,MtoF,1} - h_{occ,end,kitch,MtoF,1} \right] \cdot Gain_{occ,kitch,MtoF,1} \\ & + \left[h_{occ,beg,kitch,MtoF,2} - h_{occ,end,kitch,MtoF,2} \right] \cdot Gain_{occ,kitch,MtoF,2} \\ & + \left[24 - h_{occ,beg,kitch,MtoF,3} + h_{occ,end,kitch,MtoF,3} \right] \cdot Gain_{occ,kitch,MtoF,3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PartB = A_{area2} \cdot & \left[h_{occ,beg,other,MtoF,1} - h_{occ,end,other,MtoF,1} \right] \cdot Gain_{occ,other,MtoF,1} \\ & + \left[h_{occ,beg,other,MtoF,2} - h_{occ,end,other,MtoF,2} \right] \cdot Gain_{occ,other,MtoF,2} \\ & + \left[24 - h_{occ,beg,other,MtoF,3} + h_{occ,end,other,MtoF,3} \right] \cdot Gain_{occ,kitch,MtoF,3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PartC = A_{area1} \cdot & \left[h_{occ,beg,kitch,StoS,1} - h_{occ,end,kitch,StoS,1} \right] \cdot Gain_{occ,kitch,StoS,1} \\ & + \left[h_{occ,beg,kitch,StoS,2} - h_{occ,end,kitch,StoS,2} \right] \cdot Gain_{occ,kitch,StoS,2} \\ & + \left[24 - h_{occ,beg,kitch,StoS,3} + h_{occ,end,kitch,StoS,3} \right] \cdot Gain_{occ,kitch,StoS,3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PartD = A_{area2} \cdot & \left[h_{occ,beg,other,StoS,1} - h_{occ,end,other,StoS,1} \right] \cdot Gain_{occ,other,StoS,1} \\ & + \left[h_{occ,beg,other,StoS,2} - h_{occ,end,other,StoS,2} \right] \cdot Gain_{occ,other,StoS,2} \\ & + \left[24 - h_{occ,beg,other,StoS,3} + h_{occ,end,other,StoS,3} \right] \cdot Gain_{occ,kitch,StoS,3} \end{aligned}$$

Dann werden die Wärmeeinträge durch Benutzer und technische Geräte abgeleitet:

$$\begin{aligned} \phi_{int,mn}(m) = & \frac{NbDayWorking(m) \cdot \{PartA + PartB\}}{1000} \\ & + \frac{(MonthDay(m) - NbDayWorking(m)) \cdot \{PartC + PartD\}}{1000} \end{aligned}$$

PartA2, PartB2, PartC2, PartD2 werden in der gleichen Weise berechnet wie *PartA, PartB, PartC, PartD* aber mit Nutzung der "Beleuchtungs-Werte" anstelle von „Benutzer-Werten“.

Und dann sind die Wärmeeinträge durch Beleuchtung:

$$\begin{aligned} \phi_{int,l,mn}(m) = & \frac{NbDayWorking(m) \cdot \{PartA2 + PartB2\}}{1000} \\ & + \frac{(MonthDay(m) - NbDayWorking(m)) \cdot \{PartC2 + PartD2\}}{1000} \end{aligned}$$

Die gesamten Wärmeeinträge durch innere Quellen werden abschließend abgeschätzt mit:

$$Q_{int}(m) = \left(\phi_{int,mn}(m) + \phi_{int,l,mn}(m) \right) \cdot k_{cor,int} \text{ [kWh]}$$

- **Solare Wärmeeinträge**

Die Berechnung der solaren Wärmeeinträge kann in zwei Berechnungen aufgeteilt werden. Die erste behandelt die Verglasung, während sich die zweite auf Wände bezieht.

Verglasung

Die Solarstrahlung durch die Verglasung wird abgeschätzt mit:

$$F_{glazing,sh,ok,k} A_k I_{sol,k}(m, dir) = k_{cor} \cdot A_{lat,opening}(dir) \cdot F_{glazing,sh}(dir) \cdot I_{sol,k}(m, dir) \cdot g_n \cdot F_w \cdot (1 - FrameAreaFraction)$$

$$F_{glazing,sh,ok,k} A_k I_{sol,k,hor}(m) = A_{roof,opening} \cdot F_{glazing,sh,roof} \cdot I_{sol,k,roof}(m) \cdot g_n \cdot F_w \cdot (1 - FrameAreaFraction)$$

Und die Strahlung in den Himmel durch:

$$\phi_{r,glazing}(dir) = U_{mean,opening} \cdot R_{se} \cdot A_{lat,opening}(dir) \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er} \cdot F_{r,v}$$

$$\phi_{r,glazing,hor} = U_{mean,opening} \cdot R_{se} \cdot A_{roof,opening} \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er} \cdot F_{r,h}$$

Dann wird der Wärmestrom durch solare Einträge durch die Verglasung hergeleitet:

$$\phi_{glazing,sol,mn,k}(m, dir) = F_{glazing,sh,ok,k} A_k I_{sol,k}(m, dir) - \phi_{r,glazing}(dir)$$

$$\phi_{glazing,sol,mn,k,hor}(m) = F_{glazing,sh,ok,k} A_k I_{sol,k,hor}(m) - \phi_{r,glazing,hor}$$

Zum Schluss werden die gesamten solaren Wärmeeinträge durch die Verglasung berechnet:

$$Q_{sol,glazing}(m) = \frac{MonthLength(m)}{3.6} \cdot \left[\sum_{dir} \phi_{glazing,sol,mn,k}(m, dir) + \phi_{glazing,sol,mn,k,hor}(m) \right] \text{ [kWh]}$$

Wände

Die Solarstrahlung durch die Wände wird abgeschätzt mit:

$$F_{walls,sh,ok,k} A_k I_{sol,k}(m, dir) = \alpha_{s,c} \cdot R_{se} \cdot U_{walls} \cdot A_{lat}(dir) \cdot F_{walls,sh}(dir) \cdot I_{sol,k}(m, dir) \cdot k_{cor}$$

$$F_{walls,sh,ok,k} A_k I_{sol,k,hor}(m) = \alpha_{s,c} \cdot R_{se} \cdot U_{roof} \cdot A_{roof} \cdot I_{sol,k,roof}(m)$$

Und die Strahlung in den Himmel durch:

$$\phi_{r,walls}(dir) = U_{walls} \cdot R_{se} \cdot A_{lat}(dir) \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er} \cdot F_{r,v}$$

$$\phi_{r,walls,hor} = U_{roof} \cdot R_{se} \cdot A_{roof} \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er} \cdot F_{r,h}$$

Wie für die Verglasung ist der Wärmestrom durch solare Einträge durch die Wände (ohne Berücksichtigung vom Verschattungsfaktor der Wände):

$$\phi_{walls,sol,mn,k}(m, dir) = F_{walls,sh,ok,k} A_k I_{sol,k}(m, dir) - \phi_{r,walls}(dir)$$

$$\phi_{walls,sol,mn,k,hor}(m) = F_{walls,sh,ok,k} A_k I_{sol,k,hor}(m) - \phi_{r,walls,hor}$$

Zuletzt werden die gesamten solaren Wärmeeinträge durch die Wände berechnet:

$$Q_{sol,walls}(m) = \frac{MonthLength(m)}{3.6} \cdot \left[\sum_{dir} \phi_{walls,sol,mn,k}(m, dir) + \phi_{walls,sol,mn,k,hor}(m) \right] \text{ [kWh]}$$

- **Summe Wärmeübertragung und Wärmeeinträge**

Die gesamte Wärmeübertragung Q_{ht} und die Wärmeeinträge Q_{gn} werden berechnet mit:

$$Q_{ht}(m) = Q_{tr}(m) + Q_{ve}(m)$$

$$Q_{gn}(m) = Q_{sol,glazing}(m) + Q_{sol,walls}(m) + Q_{int}(m)$$

- **Energiebedarf für die Heizung**

Der letzte Teil ist der Berechnung des Energiebedarfs für die Heizung gewidmet. Sie besteht aus zwei Schritten: Der Abschätzung der dynamischen Parameter und der Länge der Heizmonate.

Dynamische Parameter

Ein erster Ausnutzungsgrad der Einträge wird eingeführt:

$$\gamma_H(m) = \frac{Q_{gn}(m)}{Q_{ht}(m)}$$

Die Zeitkonstante des Gebäudes wird definiert über:

$$\tau = \frac{C_m}{3600} \frac{1}{H_{tr,adj}(1) + H_{ve,adj}}$$

$$a = a_0 + \frac{\tau}{\tau_0}$$

Zudem wird ein zweiter Ausnutzungsgrad der Einträge genutzt:

$$\eta_{gn}(m) = \begin{cases} \frac{a}{a+1} & \text{wenn } \gamma_H(m) = 1 \\ \frac{1}{\gamma_H(m)} & \text{wenn } \gamma_H(m) < 0 \\ \frac{1 - \gamma_H(m)^a}{1 - \gamma_H(m)^{1+a}} & \text{sonstige} \end{cases}$$

Länge des Heizmonats

$$\gamma_{lim} = \frac{1+a}{a}$$

$$\gamma_H(m+0,5) = \frac{\gamma_H(m) + \gamma_H(m+1)}{2}$$

$$\gamma_H(m-0,5) = \frac{\gamma_H(m-1) + \gamma_H(m)}{2}$$

$$\gamma_1(m) = \min(\gamma_H(m-0,5); \gamma_H(m+0,5))$$

$$\gamma_2(m) = \max(\gamma_H(m-0,5); \gamma_H(m+0,5))$$

$$\gamma_{1bool}(m) = \begin{cases} 0 & \text{wenn } \gamma_1(m) > \gamma_{lim} \text{ oder } \gamma_1(m) < 0 \\ \text{"LESS"} & \text{sonstige} \end{cases}$$

$$\gamma_{2bool}(m) = \begin{cases} \text{"MORE"} & \text{wenn } \gamma_2(m) > \gamma_{lim} \\ 0 & \text{wenn } \gamma_2(m) < 0 \\ 1 & \text{sonstige} \end{cases}$$

Zwei Zwischengrößen werden definiert:

$$val(m) = \frac{1}{2} \frac{\gamma_{lim} - \gamma_1(m)}{\gamma_H(m) - \gamma_1(m)}$$

$$interm(m) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \frac{\gamma_{lim} - \gamma_H(m)}{\gamma_2(m) - \gamma_H(m)}$$

Und auch die Bedingung, die von dem Wert der Heizmonate abhängt:

$$cond(m) = \begin{cases} 0 & \text{wenn } \gamma_{1bool}(m) \neq \text{"LESS"} \\ 1 & \text{wenn } \gamma_{2bool}(m) \neq \text{"MORE"} \\ val(m) & \text{wenn } \gamma_H(m) > \gamma_{lim} \\ interm(m) & \text{sonstige} \end{cases}$$

Also kann die finale Variable $\gamma_{cor}(m)$ abgeschätzt werden:

$$\gamma_{cor}(m) = \begin{cases} cond(m) & \text{wenn } \gamma_1(m) > 0 \text{ oder } \gamma_2(m) > 0 \\ 0 & \text{sonstige} \end{cases}$$

Energiebedarf für die Heizung

$$f_{hr} = \frac{h_{end,heating} - h_{beg,heating}}{24} \cdot \frac{NbDay_{working,heating}}{7}$$

$$a_{red}(m) = \begin{cases} f_{hr} & \text{wenn } 1 - \frac{b_{red} \cdot \tau_0 \cdot \gamma_H(m) \cdot (1 - f_{hr})}{\tau} < f_{hr} \\ 1 & \text{wenn } 1 - \frac{b_{red} \cdot \tau_0 \cdot \gamma_H(m) \cdot (1 - f_{hr})}{\tau} > 1 \\ 1 - \frac{b_{red} \cdot \tau_0 \cdot \gamma_H(m) \cdot (1 - f_{hr})}{\tau} & \text{sonstige} \end{cases}$$

Der monatliche Energiebedarf folgt:

$$Q_{H,month}(m) = a_{red}(m) \cdot \max\left(0; Q_{ht}(m) - \max\left(0; \eta_{gn}(m)\right) \cdot Q_{gn}(m)\right) \cdot \gamma_{cor}(m) \text{ [kWh]}$$

Der jährliche Energiebedarf ist dann:

$$Q_{nd} = \sum_m Q_{month}(m) \text{ [kWh/year]}$$

Also wird die jährlich gelieferte Energie (End- oder Sekundärenergie) definiert mit:

$$Q_{delivered} = \begin{cases} 0 & \text{wenn der Benutzer kein Heizsystem ausgewählt hat} \\ \frac{Q_{nd}}{\eta_{EfficiencySystem}} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{year}} \right] & \text{sonstige} \end{cases}$$

Und der zugehörige jährliche Primärenergiebedarf für die Heizung ist:

$$Q_{prim} = Q_{delivered} \cdot k_{energytype} \text{ [kgoe/year]}$$

4.3.2.2.3 Energiebedarf für die Raumkühlung und solare Wärmeeinträge

Wie in Kapitel 4.3.2.2.2 angegeben, gelten die meisten Formeln für die Raumheizung auch für den Kühlbetrieb. Daher werden nur geänderte Formeln hier dargestellt.

- **Zuordnungen**

Im ersten Schritt erfolgt die Zuordnung der Variablen für den Kühlbetrieb:

$$H_g = H_{g,C}$$

$$H_{pi} = H_{pi,C}$$

$$H_{pe} = H_{pe,C}$$

$$\bar{\theta}_i = \theta_{int,set,C}$$

$$k_{D,cor} = k_{D,cor,C}$$

$$k_{cor,ve} = k_{cor,ve,C}$$

$$k_{cor,int} = k_{cor,int,C}$$

$$k_{cor} = k_{cor,C}$$

$$f_{shut}(m) = 0$$

$$AFR_{floor} = n_C$$

$$a_0 = a_{C0}$$

$$\tau_0 = \tau_{C0}$$

$$b_{red} = b_{C,red}$$

$$\eta_{EfficiencySystem} = \eta_{CoolingEfficiencySystem}$$

$$k_{energytype} = k_{energytype,cooling}$$

- **Wärmeübertragung ins Erdreich**

In diesem Teil werden die Formeln nicht verändert.

- **Wärmeübertragung durch Transmission**

Die Wärmeübertragung durch Transmission für die Verglasung wird:

$$H_{D,glazing}(m) = U_{mean,opening} \cdot A_{lat,opening} \cdot k_{D,cor}$$

- **Wärmeübertragung durch Lüftung**

Die folgenden Formeln werden für den Kühlbetrieb vereinfacht:

$$f_{ve,t,k} = 1$$

$$b_{ve,k} = 1$$

- **Innere Gewinne**

Es gelten die Formeln für den Heizbetrieb.

- **Solare Wärmeeinträge**

Für die Verglasung werden die Formeln für die Sonneneinstrahlung:

$$F_{C,sh,gl}(m, dir) = 1 - f_{sh,with}(m, dir) + f_{sh,with}(m, dir) \cdot \frac{f_f}{g_n \cdot F_w}$$

$$A_{sol,c}(m, dir) = \begin{cases} F_{C,sh,gl}(m, dir) \cdot g_n \cdot F_w \cdot (1 - FrameAreaFraction) & \text{wenn DayCoolingActivation} = JA \\ g_n \cdot F_w \cdot (1 - FrameAreaFraction) & \text{sonstige} \end{cases}$$

$$F_{glazing,sh,ok,k} A_k I_{sol,k}(m, dir) = A_{lat,opening}(dir) \cdot F_{glazing,sh}(dir) \cdot I_{sol,k}(m, dir) \cdot A_{sol,c}(m, dir) \cdot k_{cor}$$

- **Gesamte Wärmeübertragung und -einträge**

Die Formeln sind identisch.

- **Dynamische Parameter**

Der zweite Ausnutzungsgrad der Einträge ist nun:

$$\eta_{gn}(m) = \begin{cases} \frac{a}{a+1} & \text{wenn } \gamma_H(m) = 1 \\ 1 & \text{wenn } \gamma_H(m) < 0 \\ \frac{1 - \gamma_H(m)^{-a}}{1 - \gamma_H(m)^{-(1+a)}} & \text{sonstige} \end{cases}$$

- **Länge der Kühlmonate**

Der „Schritt zur Bestimmung der Länge des Heizmonats“ heißt jetzt „Schritt zur Bestimmung der Länge des Kühlmonats“. Auch wenn der Ansatz weitestgehend gleich ist, sind die neuen Formeln:

$$inv\gamma_{lim} = \frac{1+a}{a}$$

$$inv\gamma_H(m) = \frac{1}{\gamma_H(m)}$$

$$inv\gamma_H(m+0,5) = \frac{inv\gamma_H(m) + inv\gamma_H(m+1)}{2}$$

$$inv\gamma_H(m-0,5) = \frac{inv\gamma_H(m-1) + inv\gamma_H(m)}{2}$$

$$inv\gamma_1(m) = \min(inv\gamma_H(m-0,5); inv\gamma_H(m+0,5))$$

$$inv\gamma_2(m) = \max(inv\gamma_H(m-0,5); inv\gamma_H(m+0,5))$$

$$inv\gamma_{1bool}(m) = \begin{cases} 0 & \text{wenn } inv\gamma_1(m) > inv\gamma_{lim} \\ \text{"LESS"} & \text{sonstige} \end{cases}$$

$$inv\gamma_{2bool}(m) = \begin{cases} \text{"MORE"} & \text{wenn } inv\gamma_2(m) > inv\gamma_{lim} \\ 1 & \text{sonstige} \end{cases}$$

$$\begin{aligned}
 invval(m) &= \frac{1}{2} \frac{inv\gamma_{lim} - inv\gamma_1(m)}{inv\gamma_H(m) - inv\gamma_1(m)} \\
 invinterm(m) &= \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \frac{inv\gamma_{lim} - inv\gamma_H(m)}{inv\gamma_2(m) - inv\gamma_H(m)} \\
 invcond(m) &= \begin{cases} 0 & \text{wenn } inv\gamma_{1bool}(m) \neq \text{LESS} \\ 1 & \text{wenn } inv\gamma_{2bool}(m) \neq \text{MORE} \\ invval(m) & \text{wenn } inv\gamma_H(m) > inv\gamma_{lim} \\ invinterm(m) & \text{sonstige} \end{cases} \\
 \gamma_{cor}(m) &= \begin{cases} invcond(m) & \text{wenn } inv\gamma_1(m) > 0 \text{ oder } inv\gamma_2(m) > 0 \\ 1 & \text{sonstige} \end{cases}
 \end{aligned}$$

• Energiebedarf für die Kühlung

Wie die Berechnung der Länge des Kühlmonats, wurde auch die Berechnung des Energiebedarfs für die Kühlung aus der Berechnung für die Heizung abgeleitet.

Nur zwei Formeln wurden geändert:

$$f_{hr} = \frac{NbDay_{working,cooling}}{7}$$

Und der monatliche Energiebedarf für die Kühlung:

$$Q_{C,month}(m) = a_{red}(m) \cdot \max(0; Q_{gn}(m) - \max(0; \eta_{gn}) \cdot Q_{ht}(m)) \cdot \gamma_{cor}(m)$$

Der jährliche Primärenergiebedarf für die Kühlung beträgt:

$$Q_{delivered} = \begin{cases} 0 & \text{wenn der Benutzer kein Kühlsystem ausgewählt hat} \\ \frac{Q_{nd}}{\eta_{EfficiencySystem}} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{Jahr}} \right] & \text{sonstige} \end{cases}$$

4.3.2.2.4 Energiebedarf für die Warmwasser-Bereitstellung

Zunächst werden einige Zwischenwerte berechnet:

$$a = \begin{cases} \frac{X \cdot \ln(A_{conditionedarea}) - Y}{A_{conditionedarea}} & \text{wenn } A_{conditionedarea} > 30 \\ Z & \text{sonstige} \end{cases}$$

$$V_w = a \cdot A_{conditionedarea}$$

$$\Delta T_{rEq} = \theta_{w,t} - \theta_{w,outside}$$

$$Q_w(m) = \frac{4.182}{3.6} \frac{V_w}{1000} \Delta T_{rEq} \cdot MonthDay(m) \text{ [kWh]}$$

Der jährliche Endenergiebedarf für Warmwasser ist:

$$Q_{DHW,nd} = \sum_m Q_w(m) \text{ [kWh/Jahr]}$$

Also wird die jährlich gelieferte Energie (End- oder Sekundärenergie) definiert mit:

$$Q_{DHW,delivered} = \begin{cases} 0 & \text{bei "keine Warmwasserbereitstellung"} \\ Q_{DHW,nd} \cdot \frac{1 - DHW_{energyreduction}}{\eta_{DHW}} & \text{[kWh/Jahr] sonstige} \end{cases}$$

Somit ist der Jahresprimärenergiebedarf für Warmwasser:

$$Q_{DHW,prim} = Q_{DHW,delivered} \cdot k_{energytype,DHW} \text{ [kgoe/year]}$$

4.3.2.3 Modul C

Die Formeln zur Berechnung der Umweltwirkungen für Modul C sind:

Modul C			
Lebensende (End-of-Life)	C1 Rückbau	Stahlbleche	$m_{tss} k_{StBldgDem}$
		Stahlträger	$m_{tsb} k_{StBldgDem}$
		Stahlstützen	$m_{tsc} k_{StBldgDem}$
		Stahlschrauben und -bolzen	$(m_{tst} + m_{tbo}) k_{StBldgDem}$
		Blechverbindungen	$m_{tpl} k_{StBldgDem}$
	C2 Transport	Stahlbleche	$m_{tss} k_{RERALT} / 10$
		Stahlträger	$m_{tsb} k_{RERALT} / 10$
		Stahlstützen	$m_{tsc} k_{RERALT} / 10$
		Stahlschrauben und -bolzen	$(m_{tst} + m_{tbo}) k_{RERALT} / 10$
		Blechverbindungen	$m_{tpl} k_{RERALT} / 10$
		Holzträger	$m_{twb} k_{RERALT} / 10$
		Holzstützen	$m_{twc} k_{RERALT} / 10$
		Makro-Komponente	
	C3 Abfallbehandlung	Beton der Decken/Böden zur Sortieranlage	$m_{consl} eol_{srs} k_{Corr}$
		Beton des Tragwerks zur Sortieranlage	$(m_{tcb} + m_{tcc}) eol_{srs} k_{Corr}$
		Bewehrung zur Sortieranlage	$(m_{conrs} + m_{trs}) eol_{srs} k_{CHStPit}$
	C4 Deponierung	Stahlbleche	$m_{tss} (1 - eol_{sd}) k_{RERStLdf}$
		Stahlträger	$m_{tsb} (1 - eol_{sbc}) k_{RERStLdf}$
		Stahlstützen	$m_{tsc} (1 - eol_{sbc}) k_{RERStLdf}$
		Stahlschrauben und -bolzen	$(m_{tst} + m_{tbo}) (1 - eol_{stbo}) k_{RERStLdf}$
		Blechverbindungen	$m_{tpl} (1 - eol_{spl}) k_{RERStLdf}$
		Beton der Decken/Böden deponiert	$m_{consl} [(1 - eol_{srs}) k_{CHCon} + (eol_{srs} - val_{conf}) k_{CHConLdf}]$
		Beton des Tragwerks deponiert	$(m_{tcb} + m_{tcc}) [(1 - eol_{srs}) k_{CHCon} + (eol_{srs} - val_{const}) k_{CHConLdf}]$
		Bewehrung deponiert	$(m_{conrs} + m_{trs}) (1 - eol_{srs}) k_{CHSt}$
		Holzträger	$m_{twb} (inc_w k_{EUWWa} + (1 - inc_w) k_{EUWLdf})$
		Holzstützen	$m_{twc} (inc_w k_{EUWWa} + (1 - inc_w) k_{EUWLdf})$
		Makro-Komponente	
Summe Modul C		Summe aller Mengen in Modul C	

Tabelle 8: Umweltwirkungen in Modul C

Die im Rahmen des LVS³-Projektes geänderten oder hinzugefügten Formeln wurden hervorgehoben.

Bezüglich der hinzugefügten Parameter für die Bodenplatte wurden folgende Formeln modifiziert:

Ein zusätzlicher Teil wird für den Transport berücksichtigt:

$$Macro - component_{C2} = \sum_{dir} A_{lat}(dir) \cdot k_{C2,wall} + \sum_{dir} A_{lat,opening}(dir) \cdot k_{C2,opening} + A_{roof} \cdot k_{C2,roof}$$

Summe Betongewicht $m_{consl,LVS3}$:

$$m_{consl,LVS3} = m_{consl} + D_{concretebasefloor} A_{ground} \cdot \rho_{consl}$$

Bewehrung zur Sortieranlage:

$$(m_{conrs} + m_{trs} + M_{steelbasefloor}) eol_{srs} k_{CHStPit}$$

deponierte Bewehrung:

$$(m_{conrs} + m_{trs} + M_{steelbasefloor}) (1 - eol_{srs}) k_{CHSt}$$

Ein zusätzlicher Teil wird für den Transport berücksichtigt:

$$Macro - component_{C4} = \sum_{dir} A_{lat}(dir) \cdot k_{C4,wall} + \sum_{dir} A_{lat,opening}(dir) \cdot k_{C4,opening} + A_{roof} \cdot k_{C4,roof}$$

Die Werte für $k_{C2,wall}$, $k_{C4,wall}$, $k_{C2,opening}$ und $k_{C4,opening}$ werden in Anhang 4 angegeben.

4.3.2.4 Modul D

Die Formeln zur Berechnung der Umweltwirkungen für Modul D sind:

Module D			
Gutschriften und Lasten außerhalb der Systemgrenzen	D Gutschriften	Beton der Decken/Böden	$- m_{consl} val_{confl} k_{CHGr}$
		Stahlbleche	$- m_{tss} (eol_{sd} - k_{RERStHDG0}) k_{GLO}$
		Beton für Tragwerk	$- (m_{tcb} + m_{tcc}) val_{const} k_{CHGr}$
		Stahlbewehrung	$- (m_{conrs} + m_{trs}) (eol_{srs} - k_{GLOSt0})$
		Stahlträger	$- m_{tsb} [(eol_{sbc} - k_{RERStSec0}) k_{GLO} + re_{sbc} (k_{RERStSec} - k_{StAvg} / 1000)]$
		Stahlstützen	$- m_{tsc} [(eol_{sbc} - k_{RERStHDG0}) k_{GLO} + re_{sbc} (k_{RERStSec} - k_{StAvg} / 1000)]$
		Stahlschrauben und -bolzen	$- (m_{tst} + m_{tbo}) (eol_{stbo} - k_{GLOSt0}) k_{GLO}$
		Blechverbindungen	$- m_{tpl} (eol_{spl} - k_{RERStPIO}) k_{GLO}$
		Holzträger	$- m_{twb} (inc_w k_{Wa} + (1 - inc_w) k_{EOR} k_{EUElec} / 3.6)$
		Holzstützen	$- m_{twc} (inc_w k_{Wa} + (1 - inc_w) k_{EOR} k_{EUElec} / 3.6)$
		Makro-Komponente	
Summe Modul D		Summe aller Mengen in Modul D	

Tabelle 9: Umweltwirkungen in Modul D

Die im Rahmen des LVS3-Projektes geänderten oder hinzugefügten Formeln wurden hervorgehoben.

Bezüglich der hinzugefügten Parameter für die Bodenplatte wurden folgende Formeln modifiziert:

Summe Betongewicht $m_{const,LVS3}$:

$$m_{const,LVS3} = m_{const} + D_{concretebasefloor} A_{ground} \cdot \rho_{const}$$

Einfluss der Stahlbewehrung:

$$(m_{conrs} + m_{trs} + M_{steelbasefloor}) (eol_{srs} - k_{GLOSt0})$$

Ein zusätzlicher Teil wird für den Transport berücksichtigt:

$$Macro - component_D = \sum_{dir} A_{lat}(dir) \cdot k_{D,wall} + \sum_{dir} A_{lat,opening}(dir) \cdot k_{D,opening}$$

Die Werte für $k_{D,wall}$, $k_{D,wall}$, $k_{D,opening}$ und $k_{D,opening}$ werden in Anhang 4 dargestellt.

5 Software-Ausgabe

Die Ergebnisse von AMECO werden, wie nachstehend beschrieben, in der Registerkarte „Ergebnisse“ dargestellt. Der Benutzer kann dabei verschiedene Anzeigeeoptionen wählen:

- Darstellung als Berechnungsblatt,
- Darstellung der ausgewählten Umweltwirkung als Balkendiagramm oder Tabelle; das Diagramm gibt die Werte für die Module A, C, D sowie die Summen A bis C und A bis D an.
- Darstellung der Summen von A bis C und A bis D für alle Umweltwirkungen als Radialgraph.

Die detaillierten Ergebnisse für die Nutzungsphase werden, wie in Kapitel 5.1 beschrieben, in speziellen Tabellen im Berechnungsblatt dargestellt. Die Ergebnisse der Umweltwirkungen werden sowohl im Berechnungsblatt als auch in der grafischen Ansicht angezeigt.

5.1 Detaillierte Ausgabe-Daten für die Nutzungsphase

Die Ergebnisse für die Nutzungsphase werden in Berechnungsblättern dargestellt. Es gibt jeweils eines für den Energiebedarf für die Heizung, den Energiebedarf für die Kühlung, den Energiebedarf für die Warmwasserbereitstellung, eines mit den Energiesummen und schlussendlich eines mit den solaren Wärmeeinträgen. Die grafische Darstellung basiert auf der in den nachstehenden Absätzen erläuterten Excel-Datei der Universität von Coimbra.

5.1.1 Energiebedarf für die Raumheizung

Für die Wärmeübertragung durch Transmission wird die Summe der Elemente mit positiven Vorzeichen je Monat angezeigt. Dies beinhaltet:

$$\begin{aligned}
 Q_{tr,walls} &= \sum_m \max(Q_{tr,walls}(m), 0) \\
 Q_{tr,glazing} &= \sum_m \max(Q_{tr,glazing}(m), 0) \\
 Q_{tr,extfloor} &= \sum_m \max(Q_{tr,ext,floor}(m), 0) \\
 Q_{tr,roof} &= \sum_m \max(Q_{tr,roof}(m), 0) + \max(Q_{tr,pitchedroof}(m), 0) \\
 Q_{tr,ground} &= \sum_m \max(Q_{tr,ground}(m), 0) \\
 Q_{tr,total} &= \sum_m \max(Q_{tr}(m), 0)
 \end{aligned}$$

Für die Wärmeübertragung durch Lüftung und die Wärmeeinträge werden die Summen gebildet:

$$\begin{aligned}
 Q_{ve} &= \sum_m \max(Q_{ve}(m), 0) \\
 Q_{sol,glaz} &= \sum_m \max(Q_{sol,glazing}(m), 0) \\
 Q_{sol,opaq} &= \sum_m Q_{sol,walls}(m) \\
 Q_{int} &= \sum_m Q_{int}(m)
 \end{aligned}$$

Darüber hinaus wird die Aufteilung der Wärmeübertragungen (Wärmeübertragung durch Transmission und durch Lüftung) in einem Balkendiagramm dargestellt.

Zusätzlich zu diesen Mengen werden der monatliche Energiebedarf für die Raumheizung und die damit verbundenen Gesamtmengen angezeigt. Auch die Werte pro Quadratmeter nicht konditionierter Gebäudezonen werden berechnet.

ENERGY FOR SPACE HEATING											Heating season length: 4.5			
HEAT TRANSFER BY TRANSMISSION						HEAT TRANSFER BY VENTILATION			HEAT GAINS					
$Q_{tr,WALLS}$	$Q_{tr,GLAZING}$	$Q_{tr,EXT FLOOR}$	$Q_{tr,ROOF}$	$Q_{tr,GROUND}$	$Q_{tr,TOTAL}$	Q_{ve}			GLAZED	OPAQUE	INTERNAL			
2395.1	4373.4	321.2	0.0	782.0	9038.0	2849.2			$Q_{sol,GLAZ}$	$Q_{sol,OPAQ}$	Q_{int}			
									17162.7	470.0	6679.3			
ENERGY NEED FOR HEATING														
$Q_{H,nd}$	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC		
kWh	211.5	140.5	52.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	98.7	178.3		
kWh/m ²	1.7	1.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	1.4		
ENERGY BREAKDOWNS														
BUILDING TOTALS FOR HEATING														
ENERGY NEED		681.8 kWh/year												
		5.5 kWh/m ² /year												
DELIVERED ENERGY		170.4 kWh/yea		PRIMARY		49.4 kgoe/yea								
COP: 4		1.4 kWh/m ² /		f_{conv} : 0.29		0.4 kgoe/m ² /								

Abbildung 2: Excel-Tabelle mit dem Energiebedarf für die Raumheizung

5.1.2 Energiebedarf für die Raumkühlung

Da für den Heiz- und Kühlmodus dieselben Mengenangaben errechnet werden, werden die Ergebnisse in der gleichen Art dargestellt (siehe Abbildung 3).

ENERGY FOR SPACE COOLING											Cooling season length: 5.2			
HEAT TRANSFER BY TRANSMISSION						HEAT TRANSFER BY VENTILATION			HEAT GAINS					
$Q_{tr,WALLS}$	$Q_{tr,GLAZING}$	$Q_{tr,EXT FLOOR}$	$Q_{tr,ROOF}$	$Q_{tr,GROUND}$	$Q_{tr,TOTAL}$	Q_{ve}			GLAZED	OPAQUE	INTERNAL			
4278.0	9914.4	573.8	0.0	1458.3	18460.5	10517.4			Q_{sol}	Q_{sol}	Q_{int}			
									8836.4	565.1	7547.6			
ENERGY NEED FOR COOLING														
$Q_{C,nd}$	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC		
kWh	0.0	0.0	0.0	0.0	334.1	676.9	853.7	717.0	578.4	78.9	0.0	0.0		
kWh/m ²	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	5.5	6.9	5.8	4.7	0.6	0.0	0.0		
ENERGY BREAKDOWNS														
BUILDING TOTALS FOR COOLING														
ENERGY NEED		3239.1 kWh/year												
		26.2 kWh/m ² /year												
DELIVERED ENERGY		1079.7 kWh/yea		PRIMARY		313.1 kgoe/yea								
COP: 3		8.7 kWh/m ² /		f_{conv} : 0.29		2.5 kgoe/m ² /								

Abbildung 3: Excel-Tabelle mit dem Energiebedarf für die Raumkühlung

5.1.3 Energiebedarf für die Warmwasserbereitung

Für die Warmwasserbereitung wird, wie in Abbildung 4 gezeigt, nur der monatliche Energiebedarf und der damit verbundene jährliche Energiebedarf dargestellt.

ENERGY NEED FOR DWH PRODUCTION												
$Q_{C,nd}$	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
kWh	217.8	203.3	225.1	217.8	225.1	217.8	225.1	225.1	217.8	225.1	217.8	225.1
kWh/m ²	1.8	1.6	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
BUILDING TOTALS FOR DWH PRODUCTION												
ENERGY NEED		2642.6	kWh/year									
		21.3	kWh/m ² /year									
DELIVERED ENERGY		2936.3	kWh/yea		PRIMARY ENERGY		851.5	kgoe/year				
η:		0.90	23.7 kWh/m ² /		f _{conv} :		0.29	6.9 kgoe/m ² /year				

Abbildung 4: Excel-Tabelle mit dem Energiebedarf für die Warmwasserbereitung

5.1.4 Energiesummen

Ein Teil der Ergebnis-Registerkarte widmet sich der Darstellung der Gesamtwerte. Sie werden berechnet mit:

$$Q_{H+C,nd}(m) = Q_{H,month}(m) + Q_{C,month}(m)$$

$$Q_{T,nd}(m) = Q_{H,month}(m) + Q_{C,month}(m) + Q_{DHW,month}(m)$$

Der jährliche Gesamtenergiebedarf ergibt sich aus der Addition des jährlichen Energiebedarfs für die Raumheizung, die Raumkühlung und die Warmwasserbereitung. Die Summe der insgesamt gelieferten Energie und die der Primärenergie werden auf die gleiche Weise berechnet.

ENERGY TOTALS (DHW + HEATING + COOLING)												
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
$Q_{H+C,nd}$ (kWh)	211.5	140.5	52.7	0.0	334.1	676.9	853.7	717.0	578.4	78.9	98.7	178.3
$Q_{T,nd}$ (kWh)	429.3	343.8	277.7	217.8	559.2	894.7	1078.8	942.0	796.2	304.0	316.5	403.4
$Q_{DHW,nd}$ (kWh)	217.8	203.3	225.1	217.8	225.1	217.8	225.1	225.1	217.8	225.1	217.8	225.1
BUILDING TOTALS PER YEAR												
TOTAL ENERGY NEED		6563.5	kWh/year									
		53.0	kWh/m ² /year									
TOTAL DELIVERED ENERGY		4186.4	kWh/yea		TOTAL PRIMARY ENERGY		1214.1	kgoe/year				
		33.8	kWh/m ² /				9.8	kgoe/m ² /year				

Abbildung 5: Excel-Tabelle mit der Zusammenstellung der Energiesummen

5.1.5 Solare Wärmeeinträge

Die monatlichen Wärmeeinträge durch die Fenster und Wände werden in zwei Tabellen wiedergegeben (siehe Abbildung 6).

SOLAR HEAT GAINS												
HEATING MODE												
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
$Q_{sol, GLAZED}$ (kWh)	1121.8	1069.1	1554.4	1673.5	1671.9	1712.5	1770.3	1803.8	1589.4	1393.5	918.3	884.1
$Q_{sol, OPAQUE}$ (kWh)	-10.1	0.9	39.1	64.5	73.7	89.7	94.7	86.5	51.9	21.1	-16.6	-25.3
COOLING MODE												
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
$Q_{sol, GLAZED}$ (kWh)	435.2	559.9	736.4	846.6	1066.5	1037.3	991.2	803.3	738.7	614.1	524.0	483.0
$Q_{sol, OPAQUE}$ (kWh)	-4.4	6.5	47.4	73.8	83.3	99.9	105.2	96.9	60.6	28.5	-11.9	-20.8

Abbildung 6: Excel-Blatt mit den Ergebnissen für die solaren Wärmeeinträge

5.2 Output-Daten für die Nutzungsphase

Ziel von AMECO ist es, die Umweltwirkungen zu berechnen. Daher müssen die für die Nutzungsphase berechneten Werte hinsichtlich ihrer Auswirkungen analysiert werden. Um dies zu machen, wird die nachstehende Prozedur für alle 24 Indikatoren durchgeführt:

$$ModuleB_{impact} = Q_{heating, delivered} \cdot k_{heating} + Q_{cooling, delivered} \cdot k_{cooling} + Q_{DHW, delivered} \cdot k_{DHW}$$

Dabei sind $k_{heating}$, $k_{cooling}$, k_{DHW} unter anderem abhängig von der Energieart (vgl. nachstehende Tabelle).

Abkürzung	Bezeichnung	Strom	Gas	flüssig	fest	Bio- masse	Einheit
Umweltwirkungen							
GWP	Treibhauspotenzial	4,82E-01	4,84E-01	4,33E-01	2,92E-01	0	t CO2-Äqv.
ODP	Ozonabbaupotenzial	4,32E-10	7,97E-11	3,11E-11	3,02E-11	0	t CFC-Äqv.
AP	Versauerungspotenzial	2,28E-03	1,61E-03	2,95E-03	1,34E-03	0	t SO2-Äqv.
EP	Eutrophierungspotenzial	1,20E-04	7,85E-05	1,46E-04	1,70E-04	0	t PO4-Äqv.
POCP	Photochemisches Ozonbildungspotenzial	1,34E-04	3,49E-04	4,41E-04	1,43E-04	0	t Ethen- Äqv.
ADP-e	Abiotischer Ressourcenverbrauch – Elemente	6,63E-08	1,18E-07	1,04E-07	5,01E-09	0	t Sb-Äqv.
ADP-ff	Abiotischer Ressourcenverbrauch – fossile Brennstoffe	8,48E+00	5,02E+01	5,07E+01	2,79E+01	0	GJ u. HW.

Ressourceneinsatz, Sekundärmaterialien und Brennstoffe							
RPE	Einsatz ern. Primärenergie, ohne die ern. Primärenergieträger, die als Rohstoffe genutzt werden	1,41E+00	2,41E-01	8,53E-02	5,72E-02	0	GJ u. Hw.
RER	Einsatz der als Rohstoff verwendeten erneuerbaren Primärenergieträger	0	0	0	0	0	GJ u. Hw.
RPE-total	Gesamteinsatz ern. Primärenergie (Primärenergie und die als Rohstoff genutzten ern. Primärenergieträger)	1,41E+00	2,41E-01	8,53E-02	5,72E-02	0	GJ u. Hw.
Non-RPE	Einsatz nicht erneuerbarer Primärenergie, ohne die nicht ern. Primärenergieträger, die als Rohstoffe verwendet werden	4,90E+00	5,05E+00	8,06E+00	1,28E+00	0	GJ u. Hw.
Non-RER	Einsatz der als Rohstoff verwendeten nicht ern. Primärenergieträger	3,60E+00	4,52E+01	4,26E+01	2,66E+01	0	GJ u. Hw.
Non-RPE-total	Gesamteinsatz nicht ern. Primärenergie (Primärenergie und die als Rohstoff verwendeten nicht ern. Primärenergieträger)	8,50E+00	5,03E+01	5,07E+01	2,79E+01	0	GJ u. Hw.
SM	Einsatz von Sekundärstoffen	0	0	0	0	0	t
RSF	Einsatz von erneuerbaren Sekundärbrennstoffen	1,73E-04	3,37E-04	2,97E-04	1,53E-05	0	GJ u. Hw.
Non-RSF	Einsatz von nicht erneuerbaren Sekundärbrennstoffen	1,82E-03	3,54E-03	3,13E-03	1,60E-04	0	GJ u. Hw.
NFW	Nettoeinsatz Süßwasserressourcen	1,84E+00	3,12E-01	1,36E-01	6,88E-02	0	10 ³ m ³
Andere Umweltinformationen, die verschiedene Abfallkategorien beschreiben							
HWD	Gefährliche Abfälle zur Deponierung	0	0	0	0	0	t
Non-HWD	Entsorgte nicht gefährliche Abfälle	1,92E+00	3,32E-01	1,10E-01	4,94E+00	0	t
RWD	Entsorgter radioaktiver Abfall	1,25E-03	2,07E-04	6,31E-05	2,47E-05	0	t
Sonstige Umweltinformationen, die Output-Stoffflüsse beschreiben							
CR	Komponenten für die Wiederverwendung	0	0	0	0	0	t
MR	Stoffe zum Recycling	0	0	0	0	0	t
MER	Stoffe für die Energierückgewinnung	0	0	0	0	0	t
EE	exportierte Energie	0	0	0	0	0	t

Tabelle 10: Wirkungskoeffizienten für die Nutzungsphase

6 Anleitung zur Nutzung von AMECO3

AMECO3 ermöglicht die Berechnung der Umweltwirkungen von jedem Gebäudetyp und jeder Brücke. Bei Anwendung auf Gebäudeebene kann auch der betriebliche Energiebedarf inklusive dem Bedarf für Heizung, Kühlung und Warmwasser ermittelt werden.

Dieser Leitfaden zielt darauf ab, das Hilfe-Menü aus früheren Versionen von AMECO entsprechend den im Rahmen des LVS³-Projektes entwickelten Neuerungen anzupassen.

Für die Eingabe und Bearbeitung der Parameter stehen verschiedene Module zur Verfügung. Die Module werden in der Werkzeugleiste ausgewählt und im Arbeitsbereich angezeigt. Bei einer vollständigen Analyse eines Gebäudes, inklusive Nutzungsphase, gibt es folgende Module:

- Projekt
- Gebäude
- Gebäudehülle
- Bodenplatte
- Dach
- Belegung
- Systeme
- Decken
- Tragwerk
- Transport
- Ergebnisse

Wenn im Feld „nur Tragwerk“ „Ja“ ausgewählt wurde, stehen folgende Module zur Verfügung:

- Projekt
- Gebäude
- Decken
- Tragwerk
- Transport

Der Benutzer kann den Zweck der Berechnung im Gebäude-Modul auswählen.

6.1 Projekt

In diesem Modul werden optionale Angaben zur Definition und Identifikation des Projektes gemacht. Die Parameter werden für die Ausgabe des Berechnungsblattes verwendet, können jedoch ohne Beeinflussung der Berechnungen leer bleiben. Die folgenden Angaben können eingefügt werden:

- Name des Projektes
- Name des Gebäudes
- für die Studie verantwortliches Unternehmen
- Benutzername
- Kommentar

Coimbra_case study_v1.ame | AMECO

File Edit Display Options ?

Project Building Envelope Base Floor Roof Occupancy Systems Structure Floors Transport Results

Project identification

Identification

Project name Residential LVS³ case study

Building name Low-rise residential building in Portugal

Company

Prepared by

Comment

Abbildung 7: Projektdefinition

6.2 Gebäude

6.2.1 Allgemeine Parameter

Coimbra_case study_v1.ame | AMECO

File Edit Display Options ?

Project Building Envelope Base Floor Roof Occupancy Systems Structure Floors Transport Results

Definition of the building

General parameters

North - South facade Length 9.0 m

East - West facade length 11.0 m

Floor height 3 m

Number of intermediate floors 1

Area of intermediate floors 99 m²

Total area of building 198.0 m²

Structure only No

Building type Residential

North
West East
South

Location

Country

Location Coimbra

Display

Abbildung 8: Wichtige Gebäudemerkmale (mit Betrachtung der Nutzungsphase)

In diesem Modul beschreibt der Benutzer die allgemeinen Parameter des Gebäudes:

- Nord - Süd Länge l_b ;
- Ost - West Länge w_b ;

Die Definition dieser Dimensionen erlaubt die Ausrichtung des Gebäudes. Nur rechteckige Gebäude können in AMECO3 berücksichtigt werden.

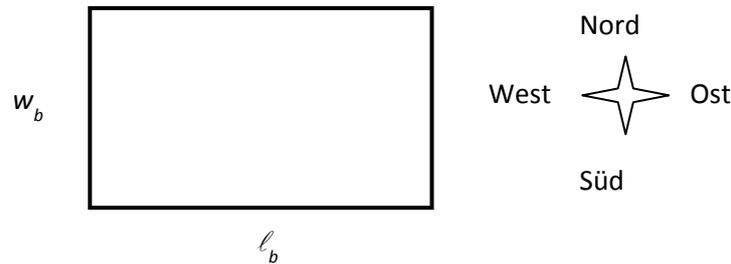


Abbildung 9: Gebäudeform

- Geschosshöhe;
- Anzahl der Geschosse n ;
- Gesamtfläche der Zwischengeschosse, errechnet aus den obigen Parametern. Die Berechnung basiert auf $a_{\text{def, floors}} = n \cdot l_b \cdot w_b$, unter der Annahme, dass jedes Geschoss die gleiche Fläche hat; Der Wert beinhaltet nicht die Fläche vom Erdgeschoss;
- Gesamtfläche des Gebäudes, berechnet aus der Anzahl der Geschosse + 1;
- Zweck der Berechnung „nur Tragwerk“:
Diese Option erlaubt dem Benutzer, durch Anklicken von „Ja“ die Energiebedarfsberechnungen zu überspringen. In diesem Fall werden nur die durch die eingesetzten Materialien entstehenden Umweltwirkungen berechnet. Zu den eingesetzten Materialien können unter anderem Tragwerk, Zwischendecken und die zugehörigen Transporte zählen.

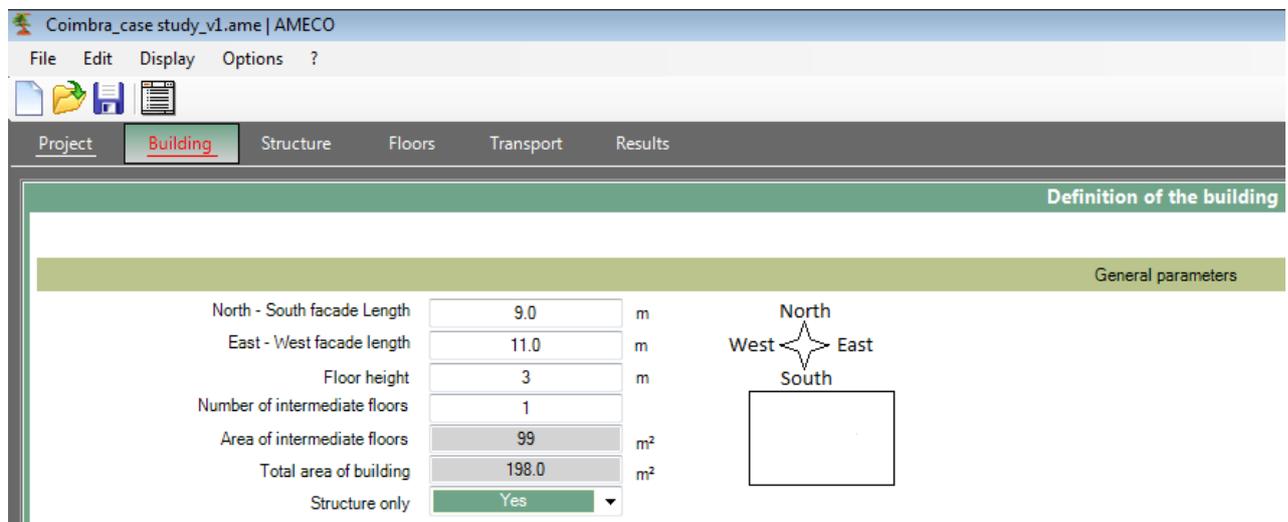


Abbildung 10: Wichtige Gebäudemerkmale (ohne Betrachtung der Nutzungsphase)

Wenn der Benutzer bei „nur Tragwerk“ „Nein“ auswählt, werden die Ergänzungsmodule angezeigt, die die erforderlichen Daten zur Berechnung des betrieblichen Energiebedarfs beinhalten. Das erste Feld, das angezeigt wird, wenn die Nutzungsphase enthalten ist, ist die Gebäudeart.

- Die Gebäudeart kann aus der Auswahlliste gewählt werden. Zur Verfügung stehen:
 - o Wohnen
 - o Büro
 - o Gewerbe
 - o Industrie

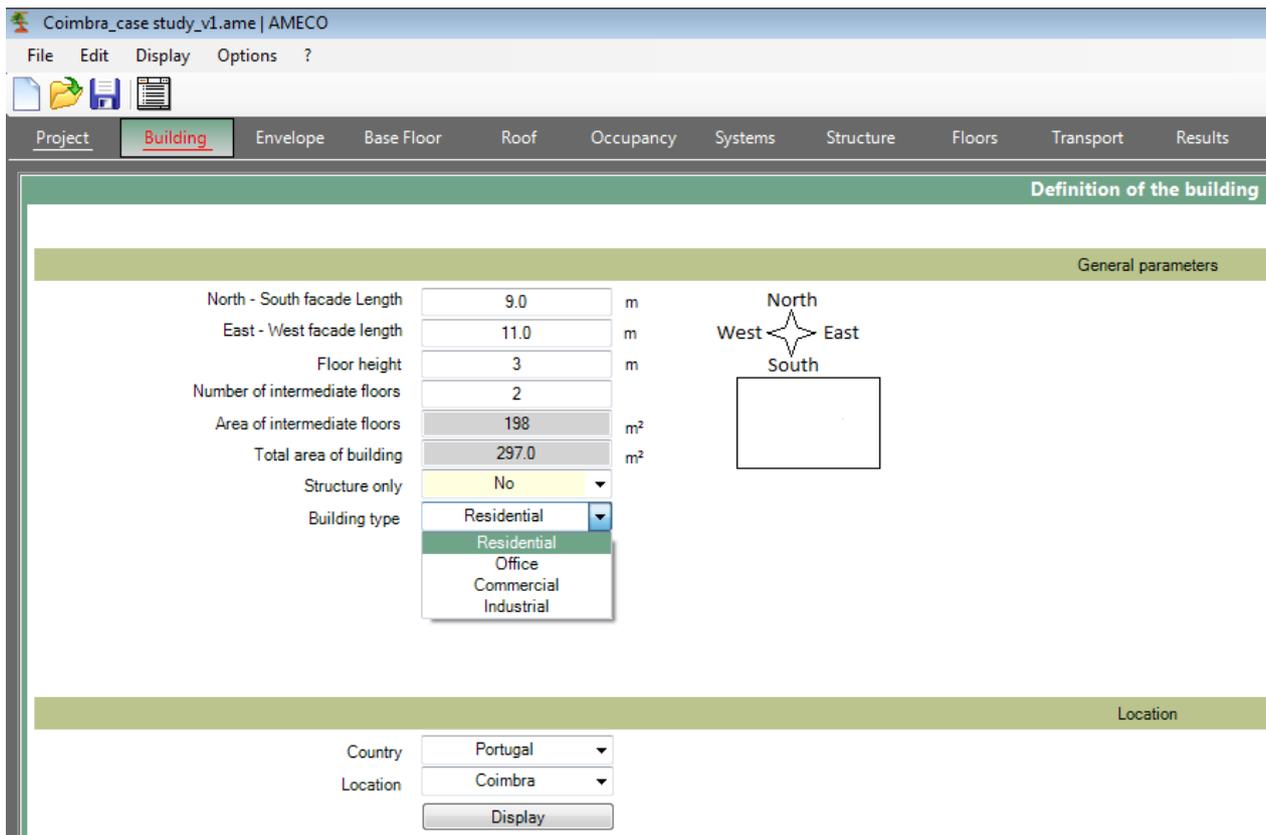


Abbildung 11: Auswahl Gebäudeart

Die Gebäudeart hat nur Einfluss auf die Berechnung der Nutzungsphase, denn die Benutzer haben einen Einfluss auf den Gebäude-Verbrauch. Zum Beispiel produzieren Beleuchtungssysteme zusätzliche Wärme in Bürogebäuden, die möglicherweise den Kühlbedarf erhöht.

Für jede Gebäudeart ist ein spezifisches Nutzungsszenario definiert, beispielsweise Belegung, Beleuchtung und Allokationen zwischen verschiedenen Zonen mit unterschiedlichen Funktionen im gleichen Gebäude. Sie werden ausgedrückt als Prozentsatz der gesamten Fläche. Details zu den entsprechenden Szenarien werden für jede Gebäudeart in den nachfolgenden Kapiteln dieses Anwendungsleitfadens dargestellt.

6.2.2 Standort

Im unteren Teil des Moduls definiert der Benutzer den Standort des Gebäudes durch Wahl:

- des Landes
- einer zugehörigen Stadt

22 Länder und 52 Städte sind verfügbar in AMECO3:

Land	Stadt
Österreich	Wien, Graz
Weißrussland	Minsk
Belgien	Brüssel
Tschechische Republik	Prag
England	London
Finnland	Helsinki, Tampere
Frankreich	Nantes, Paris, Montpellier, Marseille, Nizza
Deutschland	Berlin, München, Hamburg
Griechenland	Athen
Italien	Mailand, Rom, Sanremo, Genua
Niederlande	Amsterdam
Norwegen	Oslo
Polen	Breslau, Danzig, Kattowitz, Krakau, Lublin, Oppeln, Posen, Warschau
Portugal	Lissabon, Porto, Coimbra
Rumänien	Klausenburg, Temeschwar
Russland	Moskau, Arhanglesk
Slowakei	Bratislava
Slowenien	Laibach
Spanien	Madrid, Barcelona, Sevilla, La Coruna, Salamanca, Bilbao
Schweden	Stockholm, Kiruna, Östersund
Türkei	Istanbul, Ankara
Ukraine	Kiew

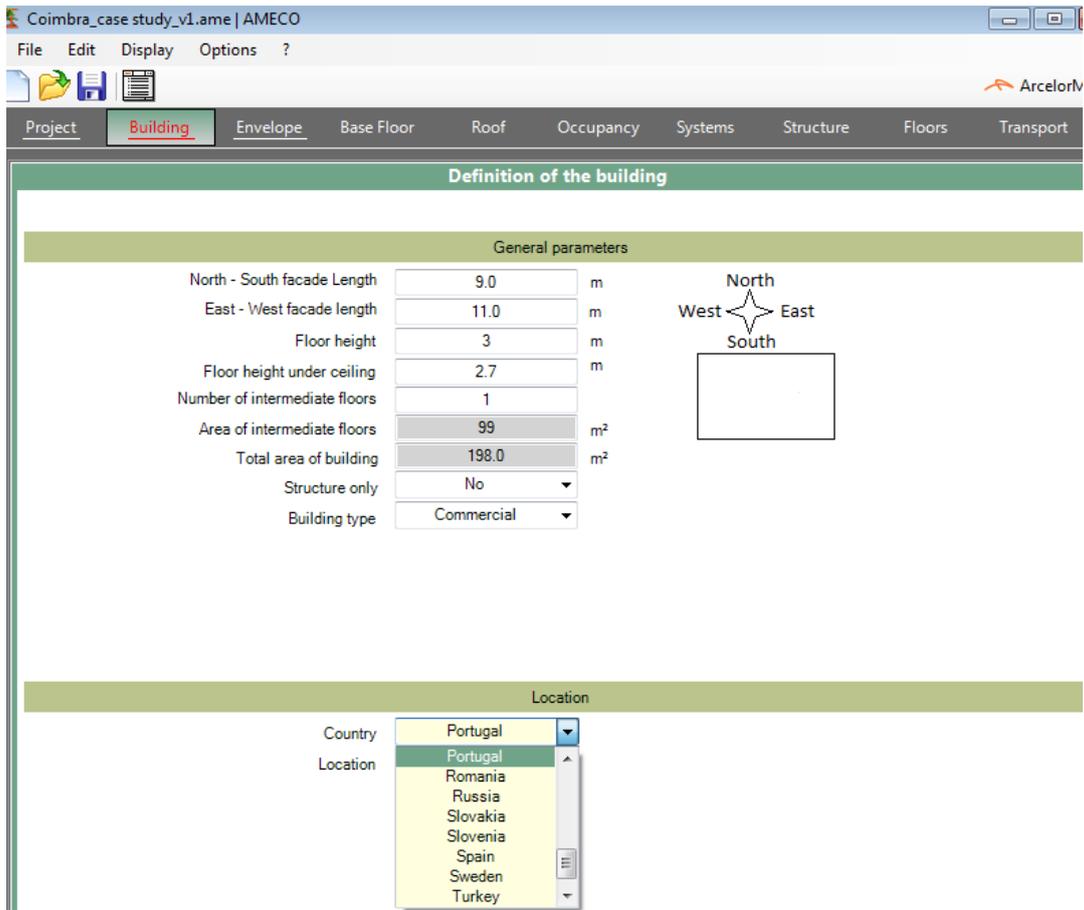


Abbildung 12: Auswahl des Landes

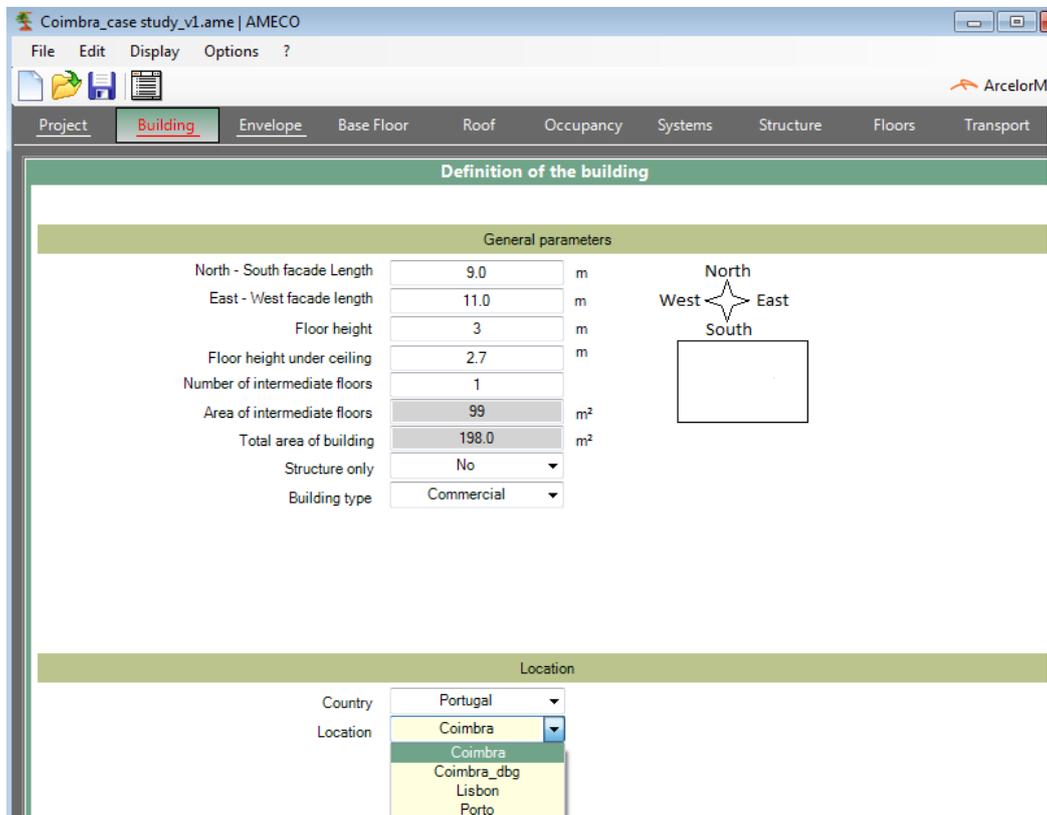


Abbildung 13: Auswahl der zugehörigen Stadt

Durch einen Klick auf „Anzeigen“ kann der Benutzer die Klimadaten für den ausgewählten Standort einsehen:

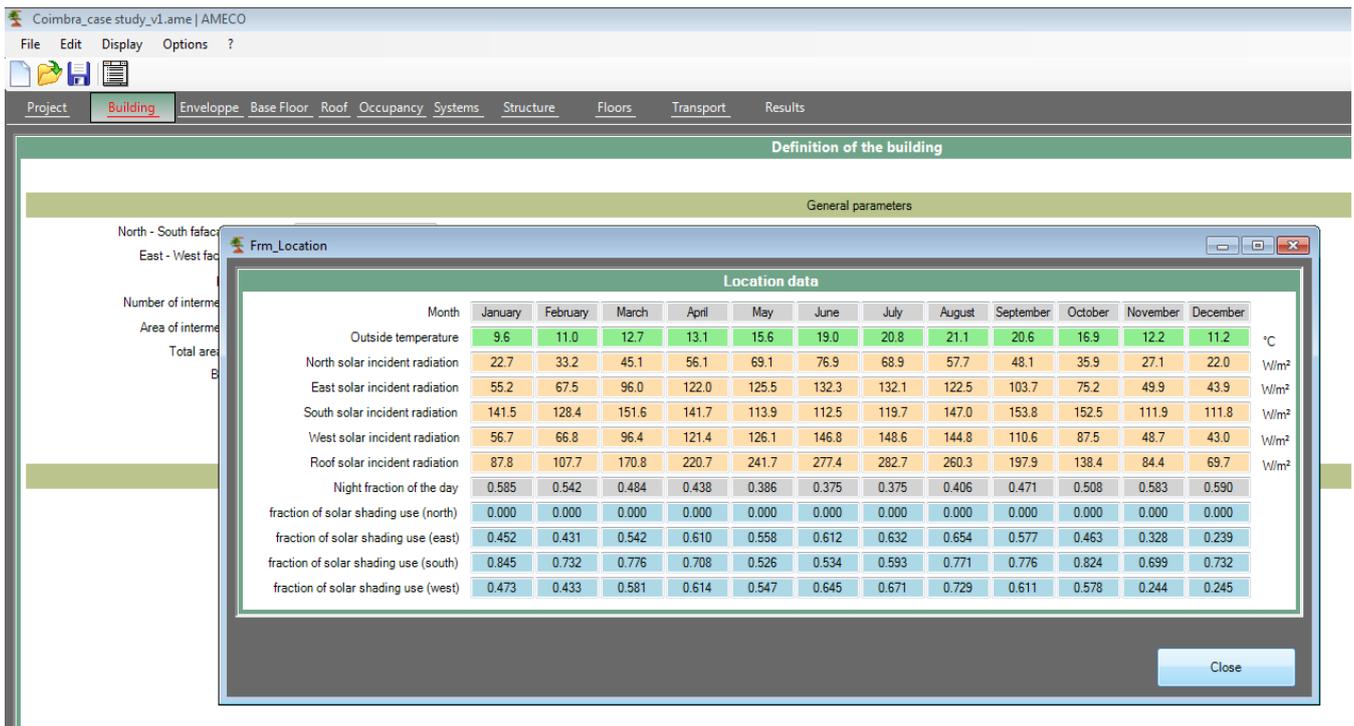


Abbildung 14: Standortdaten

6.2.3 Gebäudehülle

Im oberen Teil des Bereichs zur Definition der Gebäudehülle hat der Benutzer Zugriff auf die Fassadeneigenschaften:

- Die Wandflächen werden für jede Richtung automatisch ermittelt. Diese Flächen werden durch Multiplikation der entsprechenden Wandlänge und der Gebäudehöhe berechnet;
- Die Fensterflächen für jede Richtung werden als Prozentsatz der Fassadenfläche angegeben.

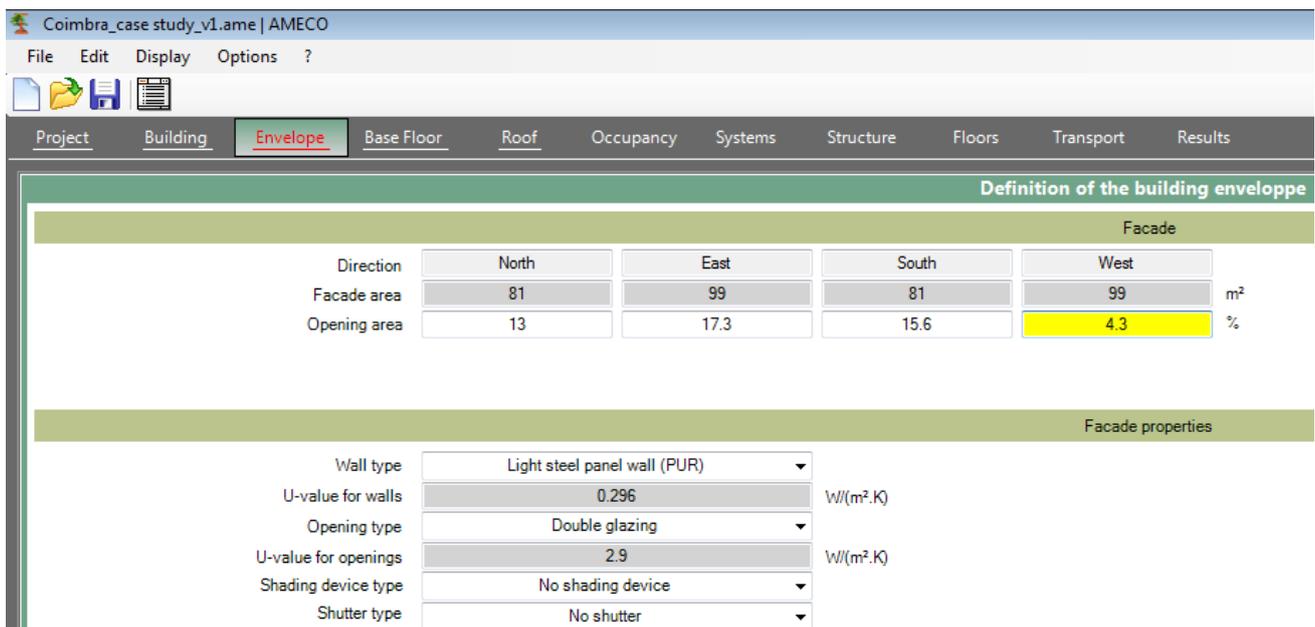


Abbildung 15: Beschreibung Gebäudehülle

Im unteren Teil des Bereichs zur Definition der Gebäudehülle werden die Fassadeneigenschaften definiert:

- Es gibt drei Hauptarten von Wänden in AMECO3:
 - o Trockenbauwand;
 - o Doppelziegelwand;
 - o Sandwich-Elemente.

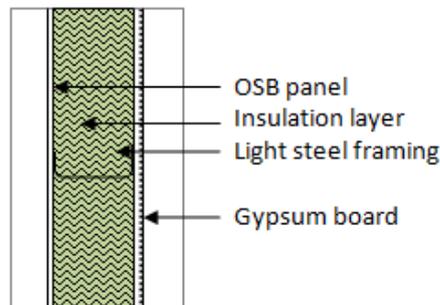
Für Trockenbauwände und Doppelziegelwände können verschiedene Dämmstoffarten ausgewählt werden:

- o Steinwolle;
- o EPS (expandiertes Polystyrol);
- o XPS (extrudiertes Polystyrol);
- o PUR (Polyurethan).

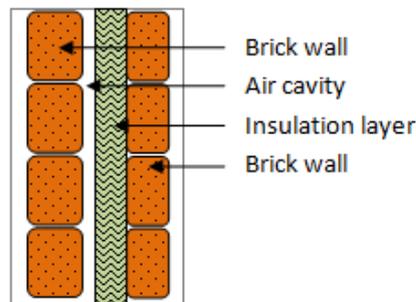
Sandwich-Elemente bestehen aus Polyurethan; mit verschiedenen Dicken: 80 mm und 200 mm.

Die Wandarten werden in den nachstehenden Abbildungen dargestellt:

Light steel panel wall:



Double clay brick wall:



Sandwich panel:

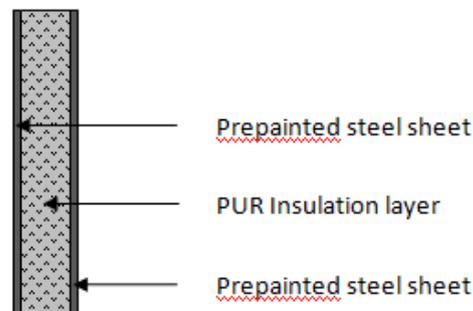


Abbildung 16: Schemata und Beschreibungen der in AMECO3 verfügbaren Wandarten

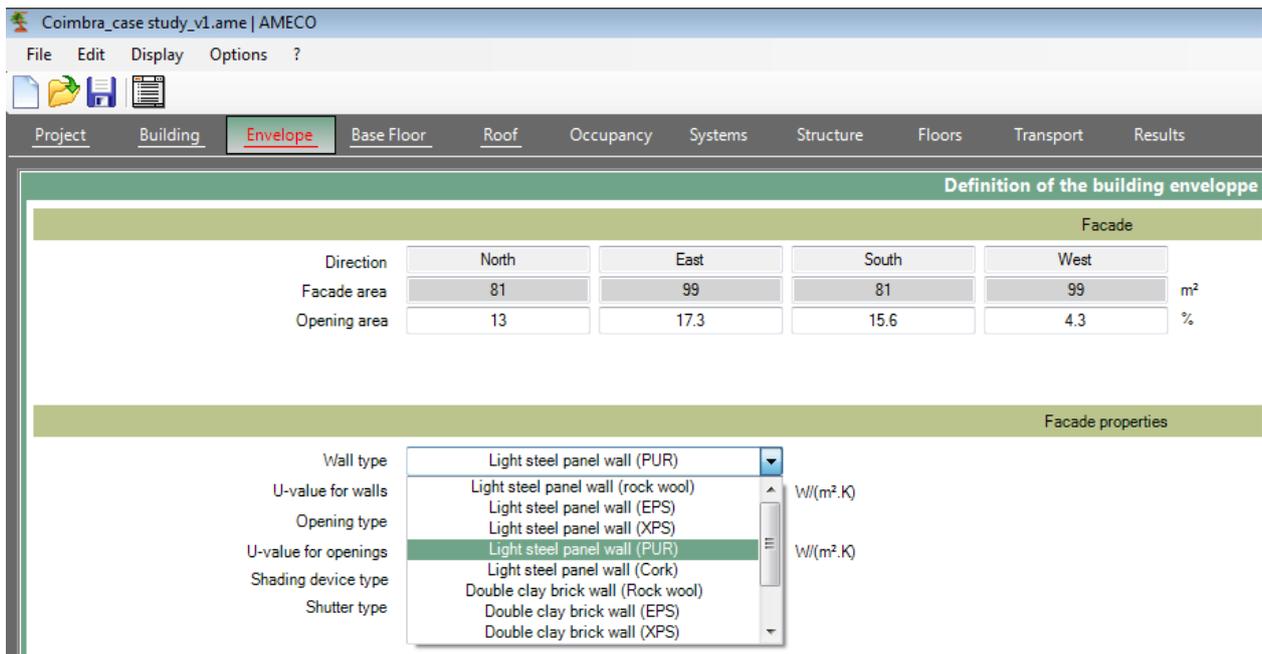


Abbildung 17: Auswahl Wandart

Die zugehörigen Umweltwirkungen für alle Wandaufbauten werden im Hintergrundbericht beschrieben.

- Der U-Wert, auch als Wärmedurchgangskoeffizient bekannt, wird je nach Benutzerauswahl dargestellt. Die U-Werte aller Wandarten wurden unter Berücksichtigung der Wärmebrücken berechnet.
- Die möglichen Fensterarten mit verschiedenen U-Werten sind:
 - o Doppelverglasung
 - o Doppelverglasung niedriger Emissionsgrad (Typ 1)
 - o Doppelverglasung niedriger Emissionsgrad (Typ 2)
 - o Doppelverglasung niedriger Emissionsgrad (Typ 3)

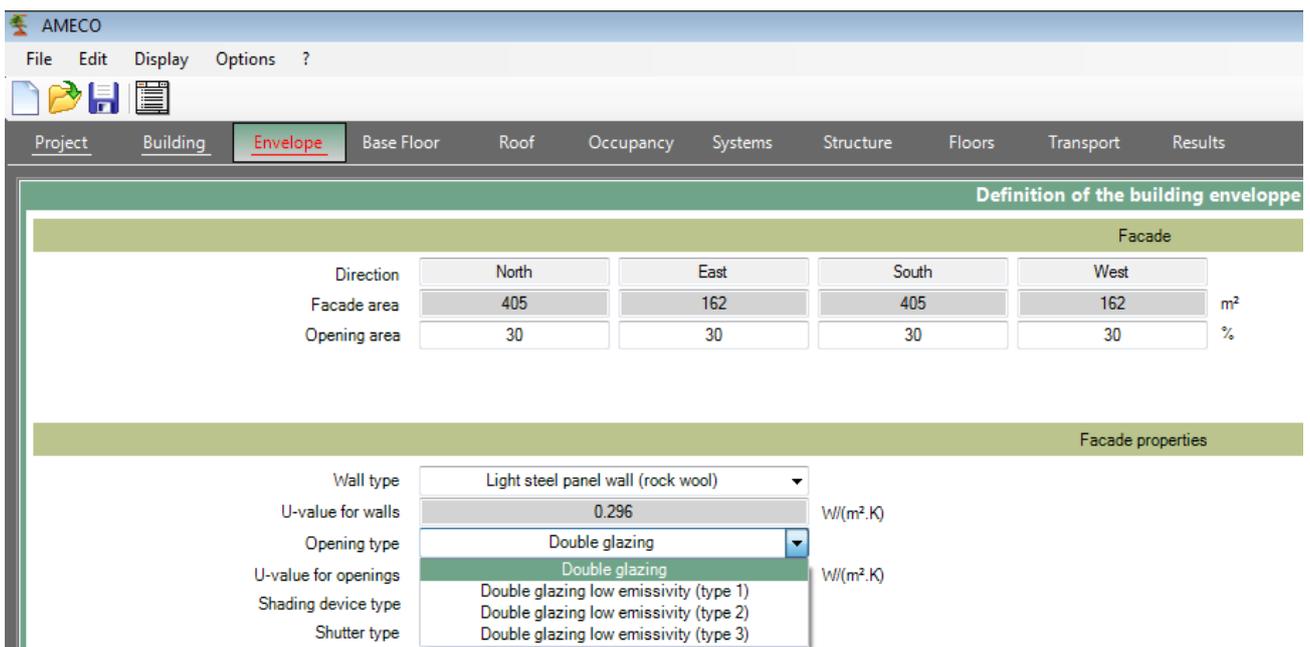


Abbildung 18: Auswahl Fensterart

- Der U-Wert des ausgewählten Fenstertyps;
- Die Art der Verschattungseinrichtung, auswählbar aus:
 - o Keine Verschattungseinrichtung
 - o Externe opake Holzverschattung (keine Dämmung)
 - o Externe Holz-Rollläden (keine Dämmung)
 - o Externe Aluminium-Rollläden (keine Dämmung)
 - o Externe Kunststoff-Rollläden (keine Dämmung)
 - o Externe Holz-Jalousien
 - o Externe Metall-Jalousien
 - o Externe opake Rollläden

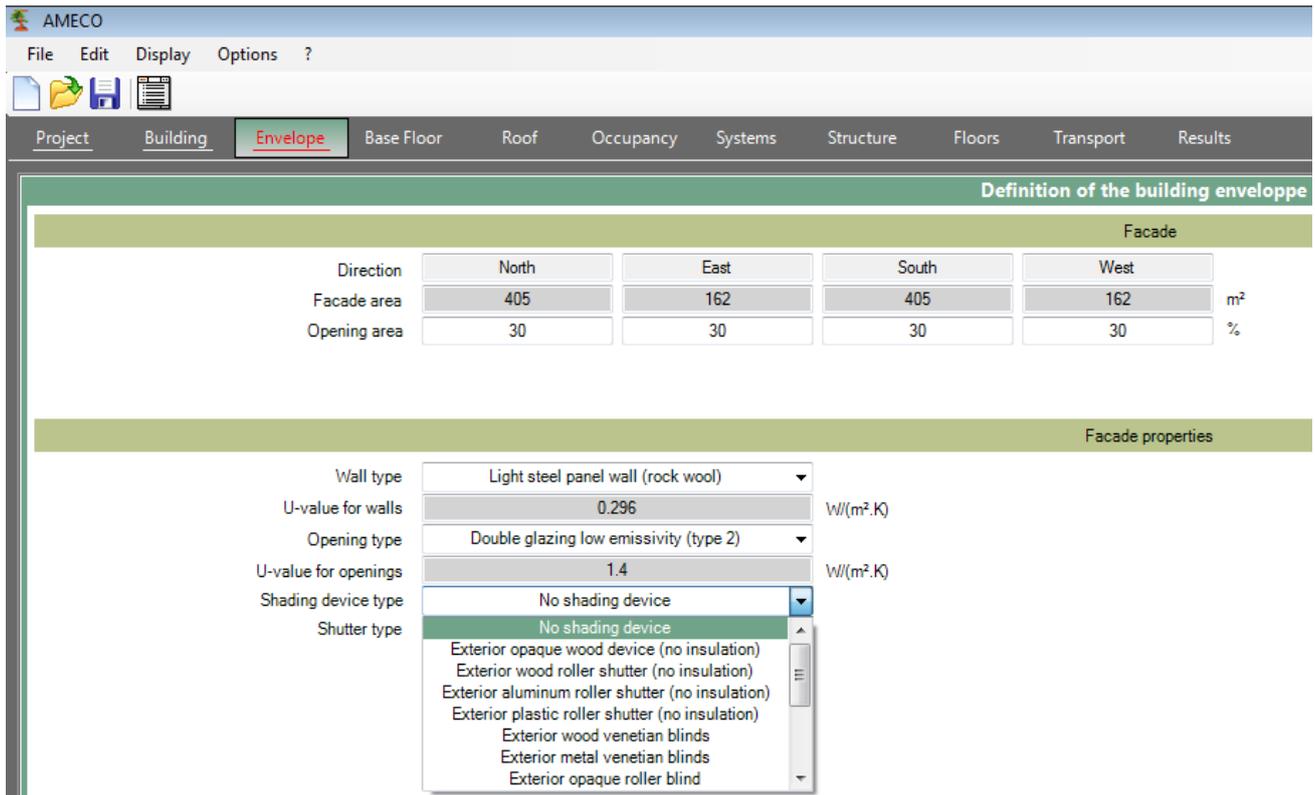


Abbildung 19: Auswahl Verschattungseinrichtung

- Der Abschlusstyp, auswählbar aus:
 - o Kein Abschluss
 - o Externe opake Holzverschattung (keine Dämmung)
 - o Externe Holz-Rollläden (keine Dämmung)
 - o Externe Aluminium-Rollläden (keine Dämmung)
 - o Externe Kunststoff-Rollläden (keine Dämmung)
 - o Externe Holz-Jalousien
 - o Externe Metall-Jalousien
 - o Externe opake Rollläden

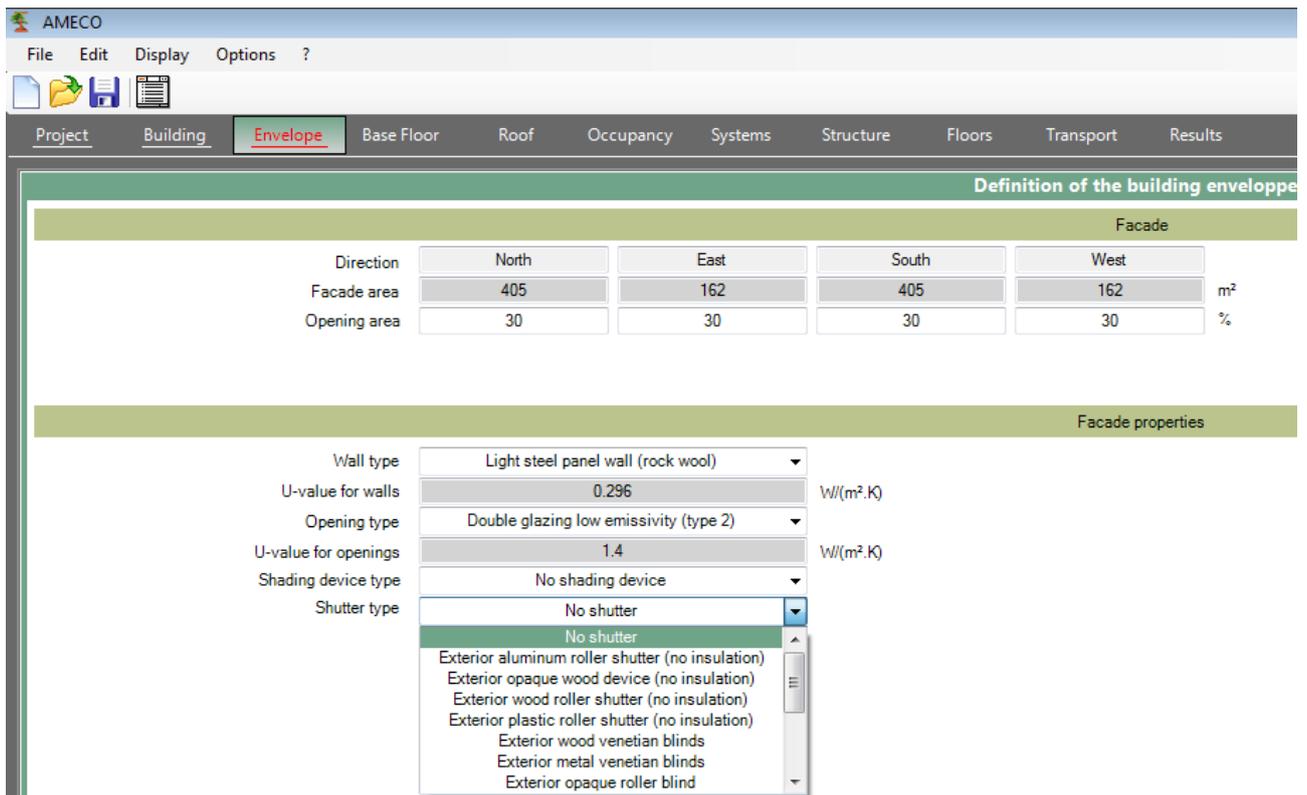


Abbildung 20: Auswahl Abschlusstyp

6.2.4 Bodenplatte

Dieses Modul dient der Definition der Eigenschaften der Bodenplatte:

- U-Wert der Bodenplatte, abhängig von der Menge der Isolierung;
- Art der Bodenplatte, unter den folgenden Möglichkeiten ausgewählt:
 - o Bodenplatte auf Erdreich
 - o Doppelboden

Die Art der Bodenplatte hat Einfluss auf das thermische Verhalten des Gebäudes und zeichnet sich durch Parameter aus, die zur Vereinfachung als Standardwerte festgelegt sind. Diese Standardwerte werden ausführlich im Hintergrundbericht beschrieben.

- Dicke der Bodenplatte in Metern, und
- die Gesamtmasse der Bewehrung in Tonnen.

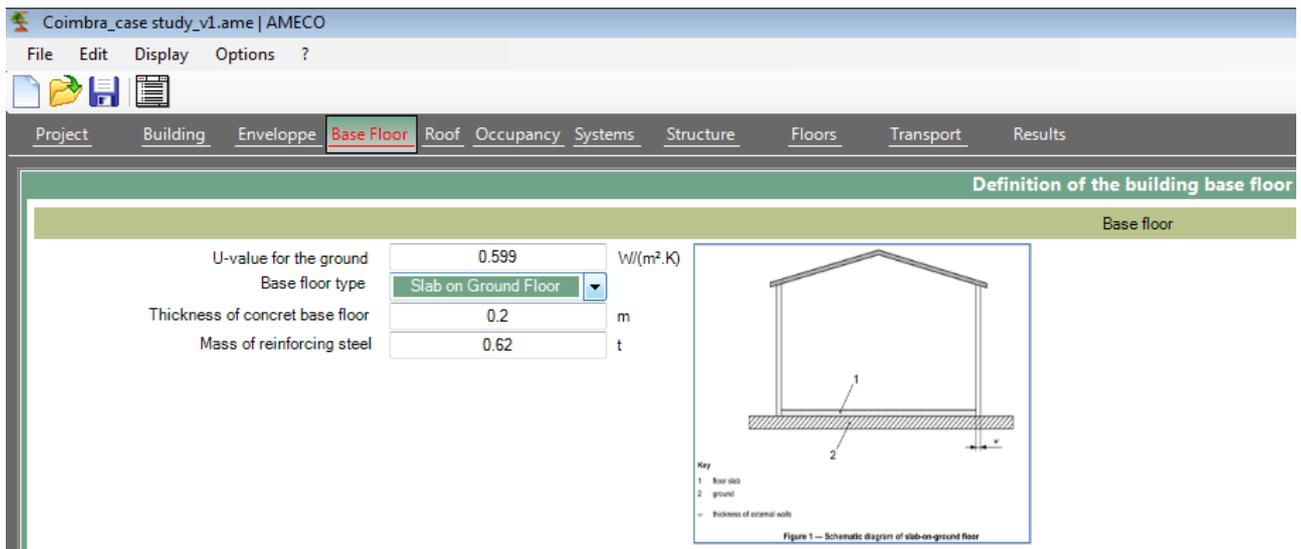


Abbildung 21: Beschreibung Bodenplatte

6.2.5 Dach

In diesem Modul wird das Dach definiert:

- Dachtyp;
- der zugehörige U-Wert wird dargestellt.

Es gibt zwei mögliche Dachformen:

- Stahldach mit Abdichtungsbahn
- Dachtyp 2

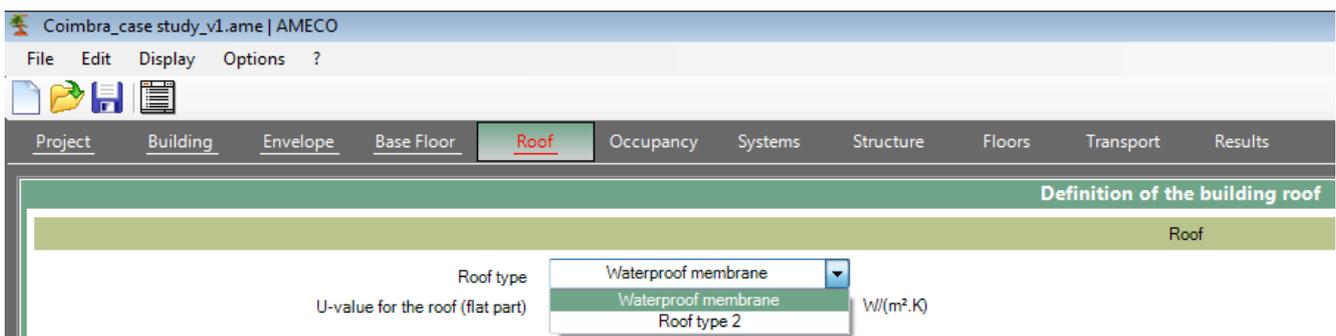


Abbildung 22: Auswahl Dachkomponenten

Weatherproof membrane steel roof:



Roof type 2 :

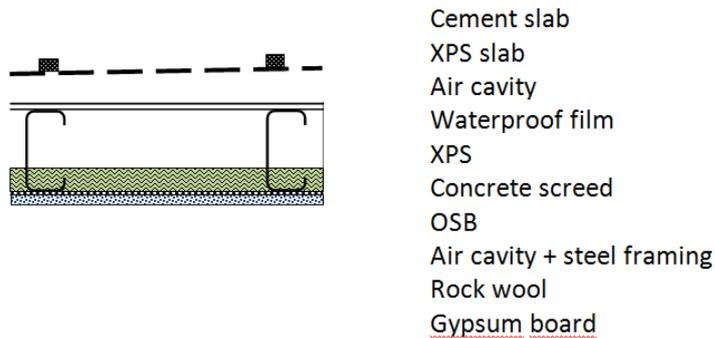


Abbildung 23: Darstellung der Dachtypen aus AMECO3

6.2.6 Belegung

Dieses Modul zielt darauf ab, die Innenraumbedingungen für die Berechnungen zu definieren:

- Die Heizsolltemperatur, in Grad, bei deren Unterschreiten das Heizsystem aktiviert wird;
- Die Kühlsolltemperatur, in Grad, bei deren Überschreiten das Kühlsystem aktiviert wird;
- Der Luftdurchsatz, die Anzahl der Luftwechsel pro Stunde, entsprechend dem Heizmodus;
- Der Luftdurchsatz entsprechend dem Kühlmodus;

Diese Parameter sind als Fixwerte gesetzt und sind unmittelbar von der im Gebäudemodul gewählten Gebäudeart abhängig.

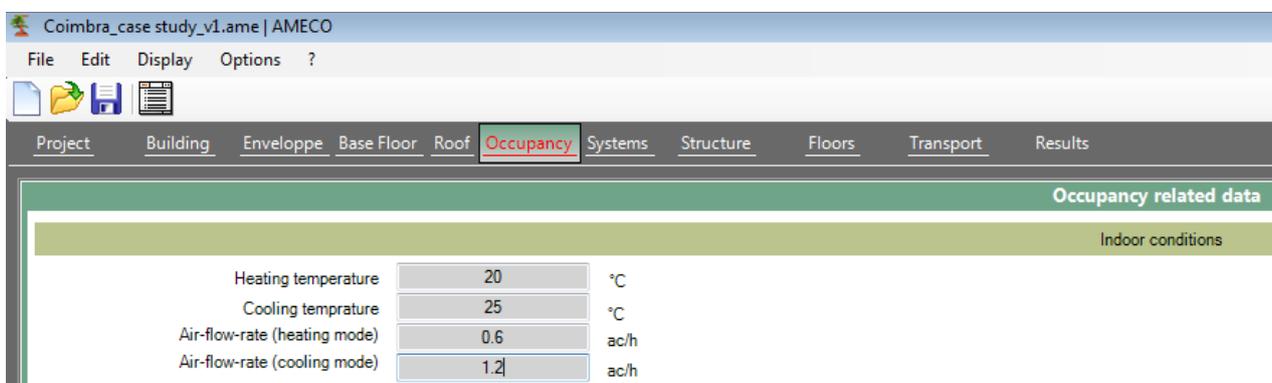


Abbildung 24: Mit dem Belegungs-Szenario eines Wohnhauses verbundene Parameter

6.2.7 Systeme

Dieses Modul widmet sich der Definition der aktiven Energiesysteme:

- Dem Heizsystem, das aus folgenden Arten ausgewählt werden kann:
 - o elektrische Widerstandsheizung
 - o Gasheizung
 - o Flüssigbrennstoffheizung
 - o Festbrennstoffheizung
 - o Split-Heizung
 - o keine Heizung

- Dem Kühlsystem, das aus folgenden Arten ausgewählt werden kann:
 - o Split-Kühlung
 - o Kältemaschine (Kompressionszyklus)
 - o Kältemaschine (Absorptionszyklus)
 - o keine Kühlung

- Dem Wärmerückgewinnungssystem. Dieser Parameter, ausgedrückt in Prozent, muss spezifiziert werden, wenn das Gebäude mit einem Doppelfluss-Belüftungssystem ausgestattet ist. Im Falle einer natürlichen Belüftung wird kein Wärmerückgewinnungssystem berücksichtigt.

- Das Warmwassersystem kann aus folgender Liste gewählt werden:
 - o Elektroboiler
 - o Gasboiler
 - o freistehender Warmwasserbereiter (Kondensation)
 - o freistehender Warmwasserbereiter
 - o kein Warmwasser

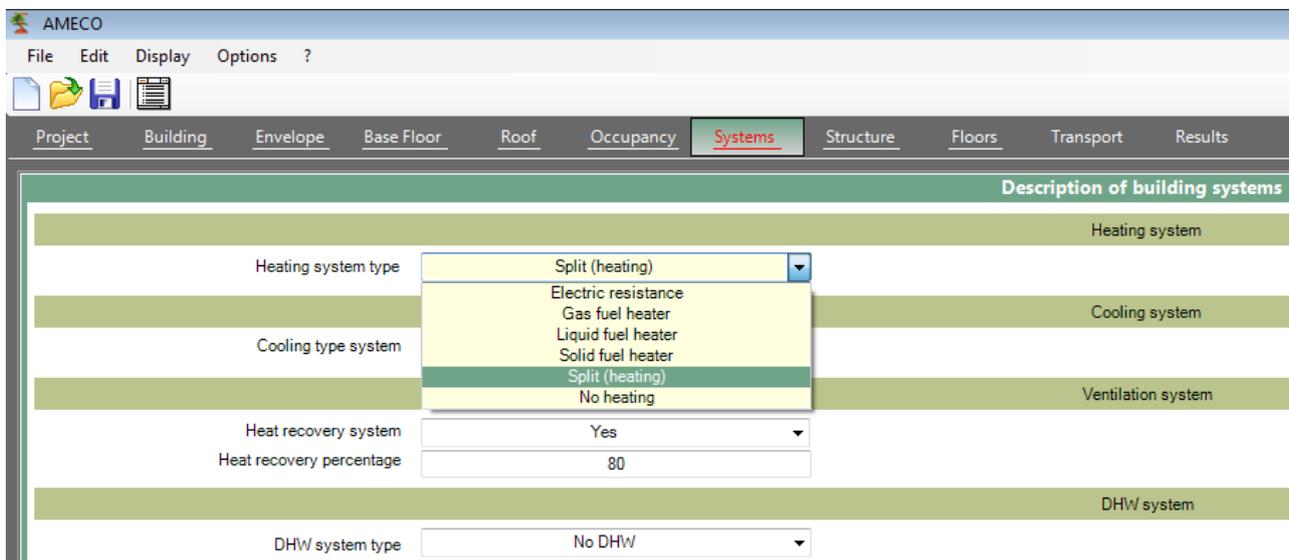


Abbildung 25: Auswahl des Heizsystems

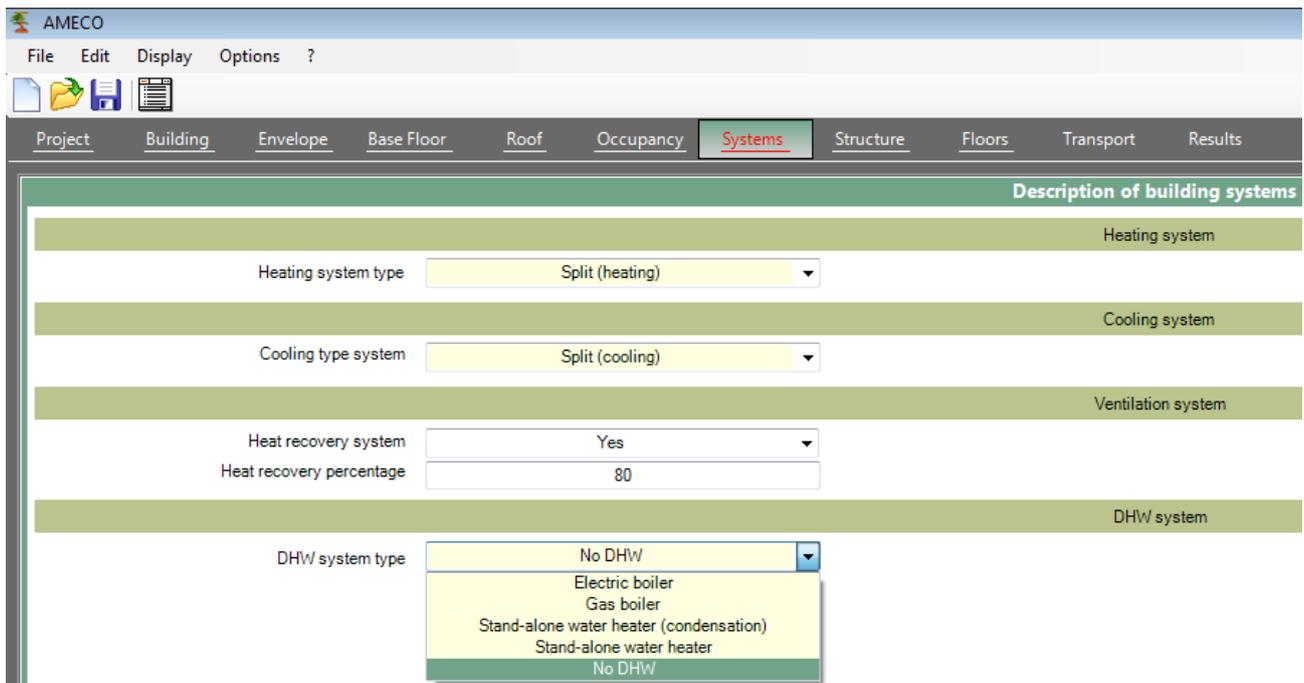


Abbildung 26: Auswahl des Warmwassersystems

6.2.8 Tragwerk

In diesem Modul müssen die Stahlelemente des Gebäudetrags, ausgedrückt in Tonnen, angegeben werden.



Abbildung 27: Definition der Gewichte der verschiedenen Stahlelemente

Stahlelemente

- Gesamtmasse der Stahlträger;
- Gesamtmasse der Stahlstützen;
- Gesamtmasse der Stahlbolzen;
- Gesamtmasse der Schrauben;
- Gesamtmasse der Kleinteile und Blechverbindungen (Winkelstahl, Platten);

6.2.9 Decken

In diesem Modul werden die Parameter der Zwischendecken angegeben. Wenn das Gebäude keine Zwischendecken hat, kann der Benutzer direkt zum nächsten Modul springen.

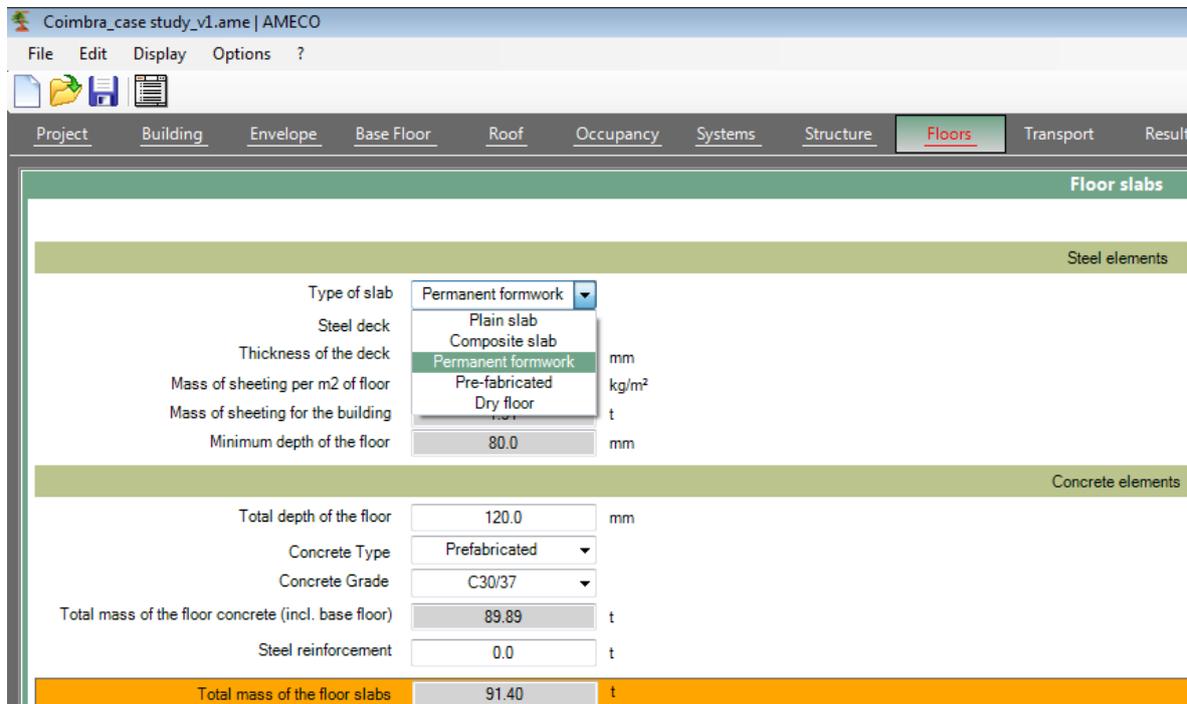


Abbildung 28: Auswahl und Definition der Elemente der Zwischendecken, sofern vorhanden.

In Abhängigkeit von der Wahl der Deckenart sollte der Benutzer die Eigenschaften der Stahl- und/oder Betonelemente spezifizieren.

Stahlelemente

- Art der Decke, zu wählen aus folgender Liste:
 - o Flachdecke,
 - o Verbundplatte,
 - o verlorene Schalung,
 - o vorgefertigt und
 - o Trockendecken.

Alle Arten außer den ersten basieren auf der Verwendung spezifischer Stahlbleche:

- Das für die Decke verwendete Stahlblech (sofern keine Flachdecke) wird in Abhängigkeit von der gewählten Deckenart aus der Stahlblech-Datenbank ausgewählt.
- Die Dicke der Stahlbleche (sofern keine Flachdecke) wird in Abhängigkeit von der gewählten Blechart aus der Stahlblech-Datenbank ausgewählt.
- Sofern keine Flachdecke gewählt wurde, wird die Dichte der gewählten Stahlbleche als Gesamtmasse der Bleche im Gebäude dargestellt.

Betonelemente

- Zementgehalt im Beton der Deckenplatten
- Standard-Betondichte, automatisch aus dem Zementgehalt berechnet
- Dichte der Betondecken, entweder als dem Standardwert entsprechend definiert oder vom Benutzer eingegeben
- Gesamtdicke der Decken (inklusive Stahlblech, sofern vorhanden)
- Aus diesen Werten werden die Betondichte, die Deckenfläche, die Gesamtmasse des Betons für die Decken berechnet und dargestellt.
- Auch die Gesamtmasse der Stahlbewehrung für die Decken muss eingegeben werden.

6.2.10 Transport

In diesem Modul werden die Parameter für den Transport der Gebäudeelemente eingegeben.

Transport der Stahlelemente

Der Benutzer kann zwischen Durchschnittsdaten für Europa und benutzerdefinierten Daten wählen. Im ersten Fall werden die im Hintergrundbericht beschriebenen Standardwerte bei der Berechnung berücksichtigt. Im anderen Fall müssen folgende Daten vom Benutzer definiert werden:

- Masse des Stahls, transportiert mit elektrischem Zug;
- Transportdistanz dieser Züge (ein Weg vom Werk zur Baustelle);
- Masse des Stahls, transportiert per LKW;
- Transportdistanz dieser LKW (ein Weg vom Werk zur Baustelle);
- Die Summe der mit Zug und LKW transportierten Massen entspricht der Gesamtmasse des im Gebäude eingesetzten Stahls inklusive Träger, Stützen, Schrauben, Bleche, Bewehrungen und anderer Stahlteile.

Betonelemente

Für den Transport von Beton gibt es zwei Wege: Entweder wird der Beton vor Ort hergestellt, was den Transport über Betonmischwagen voraussetzt, oder der Beton wird im Werk vorgefertigt und die vorgefertigten Elemente werden per LKW transportiert. Daher müssen folgende Parameter für den Transport von Beton angegeben werden:

- Masse des vor Ort hergestellten Betons (mit Betonmischwagen transportiert);
- Transportdistanz der Betonmischwagen (ein Weg vom Betonwerk zur Baustelle);
- Masse der vorgefertigten Betonbauteile (Transport per LKW);
- Transportdistanz der LKW (ein Weg vom Betonwerk zur Baustelle);
- Natürlich muss die Summe des vor Ort hergestellten Betons und der vorgefertigten Bauteile der Masse des insgesamt im Gebäude eingesetzten Betons (Böden/Decken und Tragwerk) entsprechen.

Die verwendeten Durchschnittsdaten werden im Hintergrundbericht angegeben.

The screenshot shows the AMECO software interface for the 'Coimbra_case study_v1.ame' project. The 'Transport' tab is active, displaying the 'Transport parameters' section. The interface is divided into two main sections: 'Steel elements' and 'Concrete elements'.

Steel elements:

- Total steel transported: 181.4 t
- Values for the transport impacts: A dropdown menu is set to 'Average values', with options for 'Average values' and 'User values'.

Concrete elements:

- Total concrete transported: 19.86 t
- Concrete produced on site: 19.86 t
- Distance by mixer trucks: 30.0 km
- Prefabricated concrete: 0.0 t
- Distance by regular trucks: 0.0 km

Abbildung 29: Definition der mit dem Materialtransport verbundenen Parameter (Standardmodus)

Wenn "Benutzerwerte" ausgewählt wird, müssen folgende Parameter bestimmt werden:

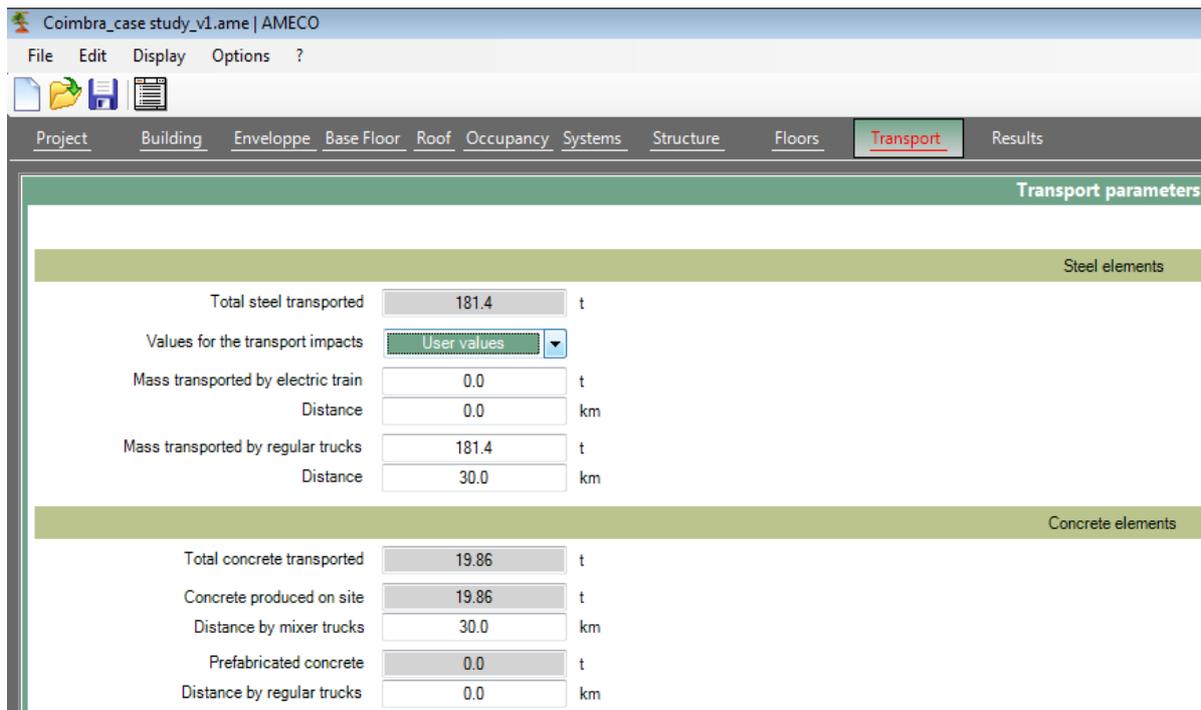


Abbildung 30: Mit dem Materialtransport verbundene Parameter (benutzerdefinierter Modus)

6.2.11 Ergebnisse

Die Berechnung wird gestartet mit einem Klick auf den Button „Ergebnisse“.

Die Ergebnisse können entweder ins Berechnungsblatt geschrieben oder über das Ergebnis-Modul direkt in der Benutzeroberfläche dargestellt werden. In letzterem Fall sind, wie nachstehend beschrieben, Balkendiagramme, Tabellen und Radialgraphen (Netz-Diagramme) verfügbar.

6.2.11.1 Balkendiagramme

Für jeden Indikator kann ein Balkendiagramm erstellt werden:

- Indikatoren zur Beschreibung der Umweltwirkungen (EN15978)
 - o Treibhauspotenzial, GWP (kg CO₂-Äquiv.)
 - o Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht, ODP (kg CFC 11-Äquiv.)
 - o Versauerungspotenzial von Boden und Wasser; AP (kg SO₂-Äquiv.)
 - o Eutrophierungspotenzial, EP (kg (PO₄)₃- Äquiv.)
 - o Potenzial für die Bildung von troposphärischem Ozon, POCP (kg Ethen- Äquiv.)
 - o Potenzial für die Verknappung von abiotischen Ressourcen - Stoffe, ADP_Stoffe (kg Sb-Äquiv.)
 - o Potenzial für die Verknappung von abiotischen Ressourcen - fossile Energieträger, ADP_fossile Energieträger (MJ)
- Indikatoren zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes (EN15978)
 - o Einsatz erneuerbarer Primärenergie ohne die erneuerbaren Primärenergieträger, die als Rohstoffe verwendet werden, (MJ, unterer Heizwert)
 - o Einsatz der als Rohstoff verwendeten, erneuerbaren Primärenergieträger (MJ, u. Hw.)
 - o Einsatz nicht erneuerbarer Primärenergie ohne die als Rohstoff verwendeten nicht erneuerbaren Primärenergieträger (MJ, unterer Heizwert)
 - o Einsatz der als Rohstoff verwendeten nicht ern. Primärenergieträger (MJ, u. Hw.)
 - o Einsatz von Sekundärstoffen (kg)
 - o Einsatz von erneuerbaren Sekundärbrennstoffen (MJ)
 - o Einsatz von nicht erneuerbaren Sekundärbrennstoffen (MJ)
 - o Nettoeinsatz von Süßwasserressourcen (m³)

- Indikatoren zur Beschreibung von Abfallkategorien (EN15978)
 - o Gefährliche Abfälle zur Deponierung (kg)
 - o entsorgte nicht gefährliche Abfälle (kg)
 - o entsorgte radioaktive Abfälle (kg)
- Indikatoren, die Output-Stoffflüsse beschreiben (EN15978)
 - o Komponenten für die Wiederverwendung (kg)
 - o Stoffe zum Recycling (kg)
 - o Stoffe für die Energierückgewinnung (keine Abfallverbrennung) (kg)
 - o exportierte Energie (MJ für jeden Energieträger)

Die Auswahl der Indikatoren kann im Anzeigemenü auf der linken Seite des Bildschirms erfolgen:

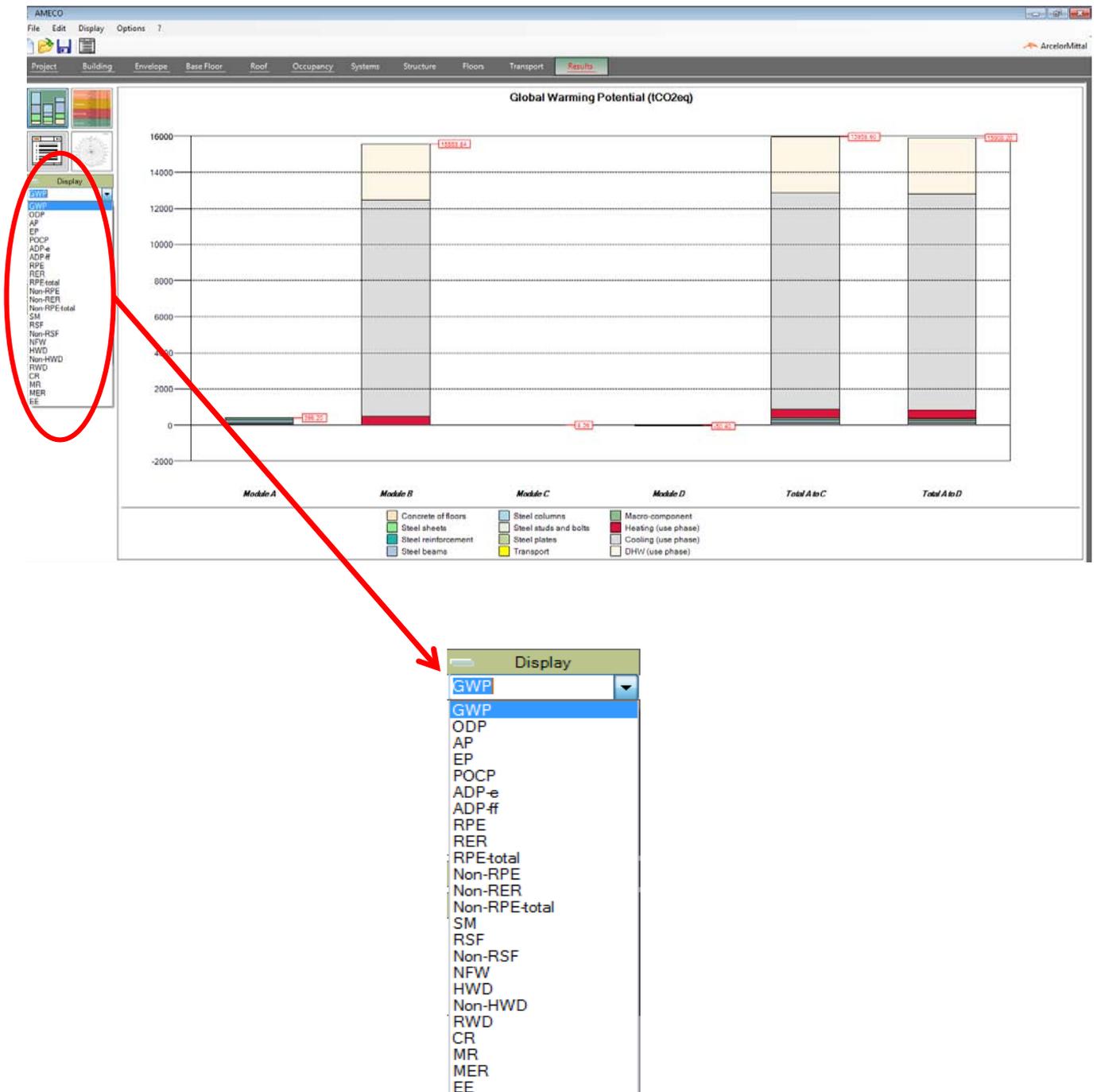


Abbildung 31: Balkendiagramm und Auswahl des angezeigten Indikators: GWP

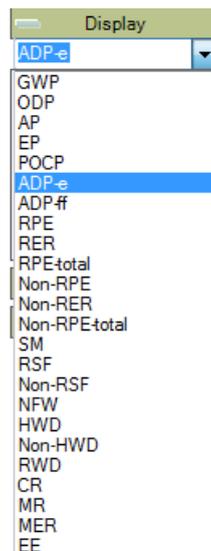
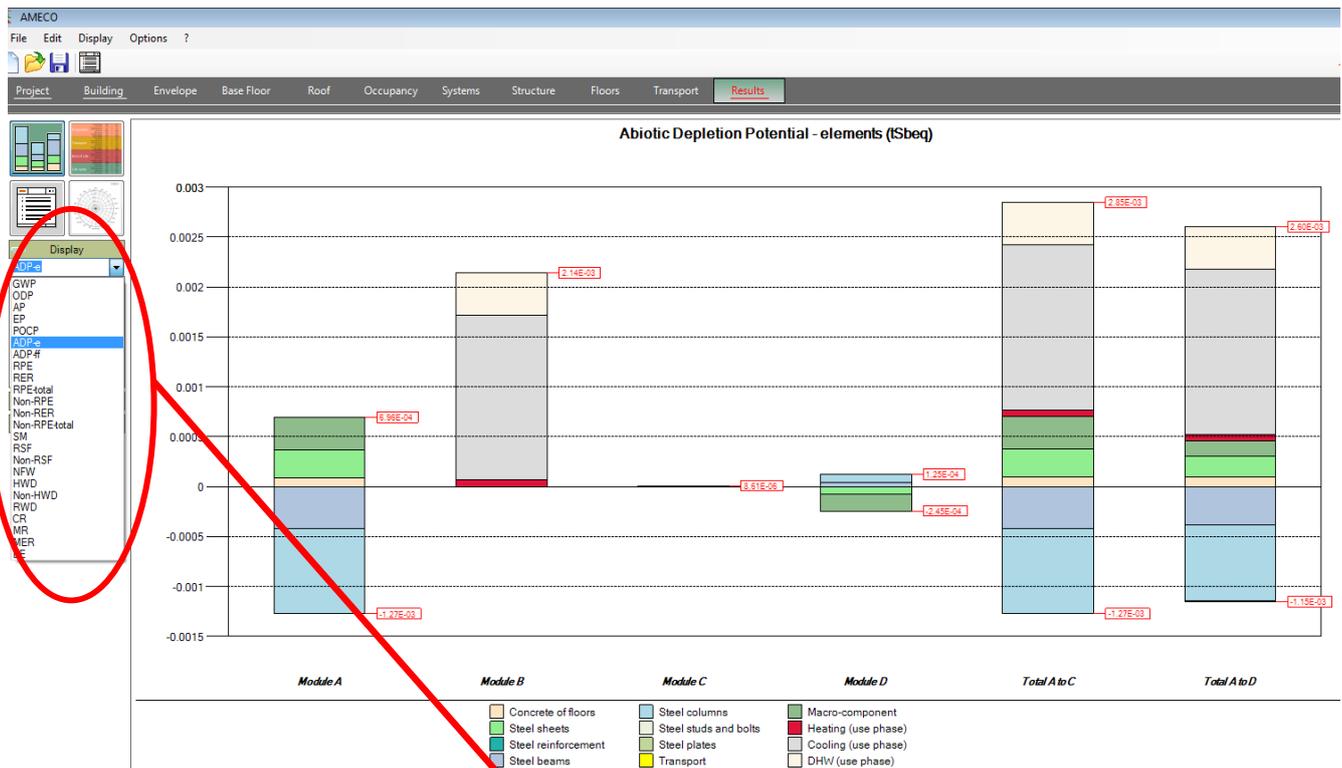


Abbildung 32: Balkendiagramm und Auswahl des angezeigten Indikators: ADP

Die Ergebnisse werden für alle Module im Lebenszyklus eines Gebäudes angezeigt:

- Modul A: Herstellungs- und Bauphase
- Modul B: Nutzungsphase
- Modul C: Lebensende
- Modul D: Gutschriften und Lasten außerhalb der Systemgrenzen
- Modul A bis C: Summe der drei Module A, B und C
- Modul A bis D: Vollständiger Lebenszyklus des Gebäudes (Summe aller Module)

Für jedes Modul werden die Auswirkungen für die folgenden Gruppen von Elementen, sofern vorhanden, dargestellt:

- Beton der Decken/Bodenplatte
- Beton des Tragwerks
- Stahlbleche
- Stahlbewehrung
- Stahlträger
- Stahlstützen
- Stahlbolzen und -schrauben
- Stahlbleche

Hüll-Materialien:

- Makro-Komponente

Transport aller Bauteile:

- Transport

Nutzungsphase:

- Heizung
- Kühlung
- Warmwasser

6.2.11.2 Tabelle

Die Ergebnisse können für jede Phase und jede Elementgruppe in einer Tabelle dargestellt werden.

Building 1		ADP-e (tSbeq)
Module A	Concrete of floors	8.57E-05
	Steel sheets	2.85E-04
	Steel reinforcement	0.00E00
	Steel beams	-4.24E-04
	Steel columns	-8.49E-04
	Steel studs and bolts	-1.26E-06
	Plate Connections	0.00E00
	Transport	2.65E-07
	Macro-component	3.25E-04
	Module A	-5.78E-04
Module B	Energy need for space heating	6.41E-05
	Energy need for space cooling	1.65E-03
	Energy need for DHW production	4.28E-04
Module B	2.14E-03	
Module C	Concrete of floors	8.38E-06
	Steel sheets	9.58E-09
	Steel reinforcement	0.00E00
	Steel beams	4.68E-08
	Steel columns	9.36E-08
	Steel studs and bolts	4.68E-10
	Plate Connections	0.00E00
	Transport	0.00E00
	Macro-component	8.09E-08
	Module C	8.61E-06
Module D	Concrete of floors	-4.30E-07
	Steel sheets	-7.67E-05
	Steel reinforcement	0.00E00
	Steel beams	4.16E-05
	Steel columns	8.33E-05
	Steel studs and bolts	-1.10E-06
	Plate Connections	0.00E00
	Transport	0.00E00
	Macro-component	-1.67E-04
	Module D	-1.20E-04
Module E	Concrete of floors	9.41E-05
	Steel sheets	2.85E-04
	Steel reinforcement	0.00E00
	Steel beams	-4.24E-04
	Steel columns	-8.48E-04

Abbildung 33: Tabelle mit Anzeige der Ergebnisse des ausgewählten Indikators

6.2.11.3 Radialgraph (Netz-Diagramm)

Der Benutzer hat außerdem die Möglichkeit, die Ergebnisse in einem Radialgraphen darzustellen, der die Summe aller Module (A bis C oder A bis D) für alle Indikatoren zusammenfasst.

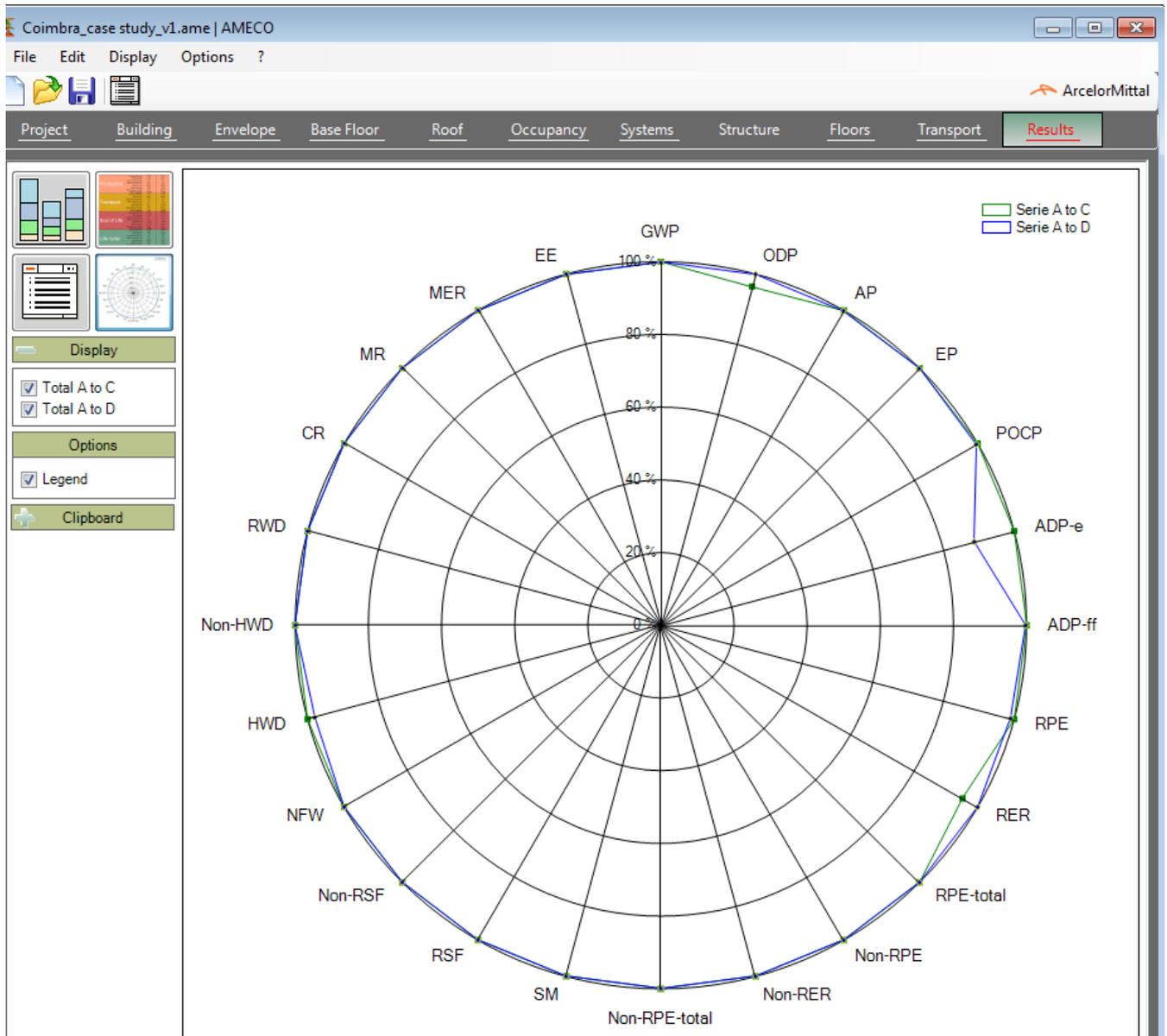
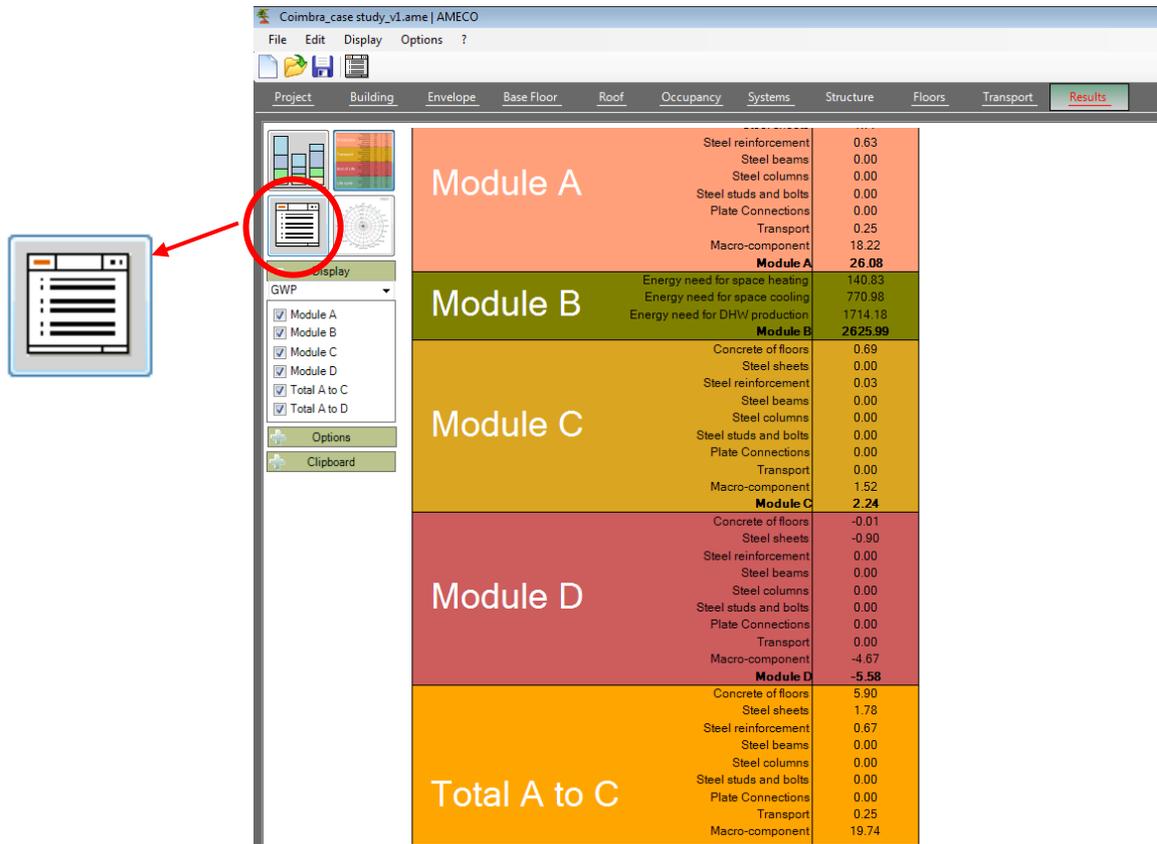


Abbildung 34: Radialgraph

6.2.11.4 Berechnungsblatt

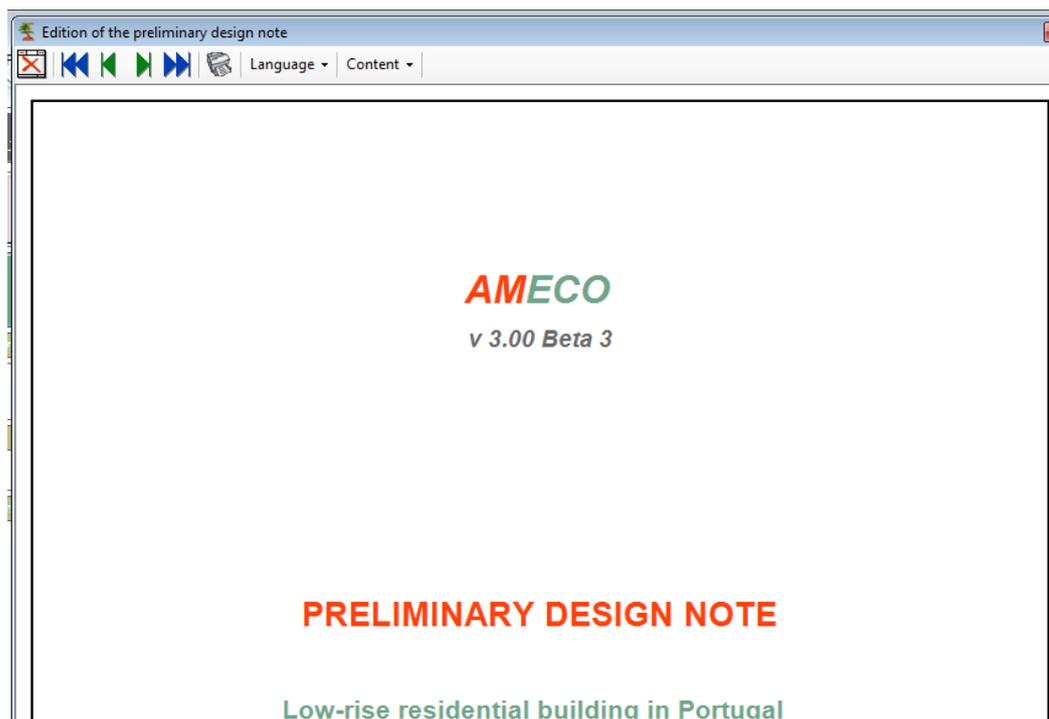
Ein Berechnungsblatt, auch bezeichnet als "Vorplanung", kann durch Auswahl des entsprechenden Buttons angezeigt werden:



Module	Material	Value
Module A	Steel reinforcement	0.63
	Steel beams	0.00
	Steel columns	0.00
	Steel studs and bolts	0.00
	Plate Connections	0.00
	Transport	0.25
	Macro-component	18.22
Module A	26.08	
Module B	Energy need for space heating	140.83
	Energy need for space cooling	770.98
	Energy need for DHW production	1714.18
Module B	2625.99	
Module C	Concrete of floors	0.69
	Steel sheets	0.00
	Steel reinforcement	0.03
	Steel beams	0.00
	Steel columns	0.00
	Steel studs and bolts	0.00
	Plate Connections	0.00
Transport	0.00	
Macro-component	1.52	
Module C	2.24	
Module D	Concrete of floors	-0.01
	Steel sheets	-0.90
	Steel reinforcement	0.00
	Steel beams	0.00
	Steel columns	0.00
	Steel studs and bolts	0.00
	Plate Connections	0.00
Transport	0.00	
Macro-component	-4.67	
Module D	-5.58	
Total A to C	Concrete of floors	5.90
	Steel sheets	1.78
	Steel reinforcement	0.67
	Steel beams	0.00
	Steel columns	0.00
	Steel studs and bolts	0.00
	Plate Connections	0.00
Transport	0.25	
Macro-component	19.74	

Abbildung 35: Button zur Erstellung der Vorplanung

Dieser druckbare Bericht zeigt alle Eingangsdaten und Ausgangsgrößen des Gebäudes.



AMECO
v 3.00 Beta 3

PRELIMINARY DESIGN NOTE

Low-rise residential building in Portugal

Abbildung 36: Bericht der Vorplanung

Synthesis*Synthesis of results for Low-rise residential building in Portugal*

	Module A	Module B	Module C	Module D	Total A to C	Total A to D
GWP (tCO ₂ eq)	26.08	2625.99	2.24	-5.58	2654.32	2648.73
ODP (tCF ₂ eq)	1.70E-07	2.36E-06	1.50E-07	9.90E-08	2.68E-06	2.78E-06
AP (tSO ₂ eq)	6.81E-02	1.24E01	5.44E-03	-1.74E-02	1.25E01	1.25E01
EP (tPO ₄ eq)	8.29E-03	6.55E-01	1.55E-03	-6.36E-04	6.65E-01	6.64E-01
POCP (tEtheneeq)	8.70E-03	7.32E-01	8.46E-04	-3.16E-03	7.42E-01	7.39E-01
ADP-e (tSbeq)	6.79E-05	3.61E-04	8.87E-07	-4.85E-05	4.30E-04	3.82E-04
ADP-ff (GJ NCV)	292.54	46225.20	14.61	-87.50	46532.35	46444.85
RPE (GJ NCV)	200.15	7710.97	1.09	-79.03	7912.21	7833.18
RER (GJ NCV)	40.38	0.00	0.05	2.01	40.43	42.44
RPE-total (GJ NCV)	5.44	7710.97	0.31	0.46	7716.73	7717.19
Non-RPE (GJ NCV)	104.35	26714.85	15.29	-8.79	26834.50	26825.71
Non-RER (GJ NCV)	0.45	19627.40	0.00	0.00	19627.86	19627.86
Non-RPE-total (GJ NCV)	104.80	46342.26	15.29	-8.79	46462.36	46453.57
SM (t)	47.15	0.00	0.00	0.00	47.15	47.15
RSF (GJ NCV)	1.61	0.95	0.00	0.00	2.55	2.55
Non-RSF (GJ NCV)	16.92	9.90	0.00	0.00	26.83	26.83
NFW (1000 m ³)	28.44	10030.69	5.85	0.42	10064.99	10065.41
HWD (t)	4.56E-04	0.00E00	0.00E00	-9.15E-06	4.56E-04	4.47E-04
Non-HWD (t)	31.36	10476.45	0.87	-2.41	10508.68	10506.27
RWD (t)	2.42E-03	6.81E00	2.70E-06	-3.08E-04	6.81E00	6.81E00
CR (t)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MR (t)	0.00	0.00	0.00	0.60	0.00	0.60
MER (t)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
EE (t)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Detailed results*Global Warming Potential*

	Module A tCO ₂ eq	Module B tCO ₂ eq	Module C tCO ₂ eq	Module D tCO ₂ eq	Total A to C tCO ₂ eq	Total A to D tCO ₂ eq
Steel total	2.41	0.00	0.04	-0.90	2.44	1.54
Floor sheets	1.77	0.00	0.00	-0.90	1.78	0.88
Concrete total	5.20	0.00	0.69	-0.01	5.90	5.88
Concrete slabs	5.20	0.00	0.69	-0.01	5.90	5.88
Use phase total	0.00	2536.56	0.00	0.00	2536.56	2536.56
Heating	0.00	57.22	0.00	0.00	57.22	57.22
Cooling	0.00	765.16	0.00	0.00	765.16	765.16
DHW	0.00	1714.18	0.00	0.00	1714.18	1714.18
Transport	0.25	0.00	0.00	0.00	0.25	0.25
Total impact of module	26.08	2536.56	2.24	-5.58	2564.89	2559.31

Abbildung 37: In der Vorplanung verfügbare Tabellen mit den Ergebnissen für alle Indikatoren

Die detaillierten Ergebnisse für die Nutzungsphase werden ebenfalls im Bericht angegeben.

Edition of the preliminary design note

12/05/2014 Software use conditions apply 35 / 39

AMECO AC&CS
v 3.00 Beta 3

Residential LVS³ case study - Low-rise residential building in Portugal

Use phase heating

Energy for space heating					
Heat transfer by transmission					
Walls	Glazing	Ext Floor	Roof	Ground	Total
kWh/year	kWh/year	kWh/year	kWh/year	kWh/year	kWh/year
2654.8	3673.3	0.0	4222.2	1429.9	11791.7
Heat Transfer by ventilation			Heat gains		
Ventilation			Glazed	Opaque	Internal
kWh/year			kWh/year	kWh/year	kWh/year
511.1			11668.0	1893.3	9365.2

Energy need for heating												
Qh,nd	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
kWh	290.6	208.4	145.4	96.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	185.8	242.6
kWh/m ²	1.5	1.1	0.7	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	1.2
Energy Breakdowns												
Building totals for heating												
Energy need	1169.5		kWh/year									
	5.9		kWh/m ² /year									
Delivered energy	292.4		kWh/year									
COP : 4	1.5		kWh/m ² /year									
Primary	84.8		kgoe/year									
fconv : 0.29	0.4		kgoe/m ² /year									

Residential LVS³ case study 35/39 English Detailed sheet

Abbildung 38: Mit dem Verbrauch während der Nutzungsphase verbundene Tabellen

7 Fallstudien

7.1 Bürogebäude

7.1.1 Einführung

Ziel dieses Kapitels ist es, die Berechnung der Umweltwirkungen eines Bürogebäudes in AMECO3 darzustellen und verschiedene Tragsysteme zu vergleichen.

Drei Arten von Tragsystemen werden analysiert:

- Stahl-Beton-Verbundkonstruktion
- Betontragwerk
- optimierte Stahl-Beton-Verbundkonstruktion (die Optimierung wurde anhand eines Öko-Designs durchgeführt)

Die Entwürfe wurden im Rahmen einer Studie von ArcelorMittal von einem externen Ingenieurbüro erstellt und von einer Gruppe unabhängiger Experten geprüft [4].

Die drei Systeme sind typisch für Bürogebäude in Europa.

7.1.2 Beschreibung der Gebäude

Gebäudedimensionen	42,4 m x 24,4 m
Anzahl Geschosse aufgehende Konstruktion	R + 8
Anzahl Untergeschosse	2
Höhe des Gebäudes	31,2 m
Geschosshöhe (OK bis OK)	3,4 m (außer Erdgeschoss 4,0 m)

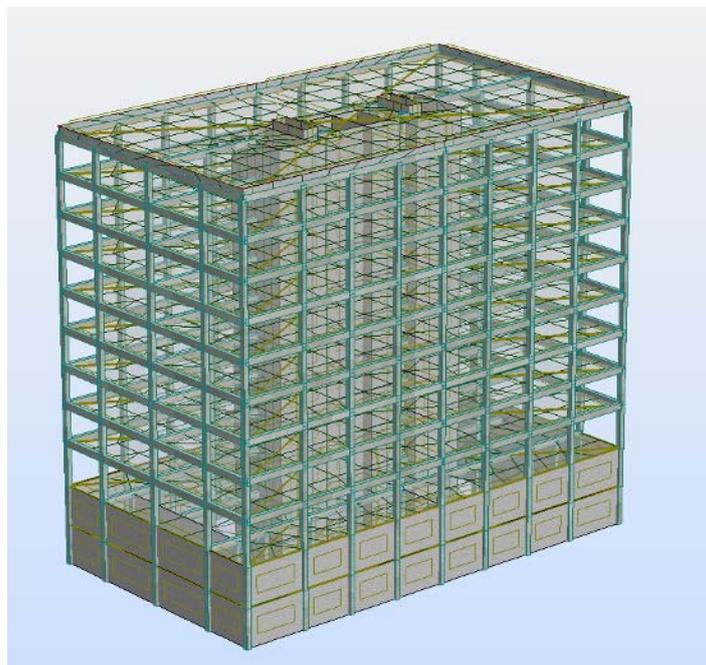


Abbildung 39: 3D-Ansicht des Gebäudes inkl. Untergeschosse

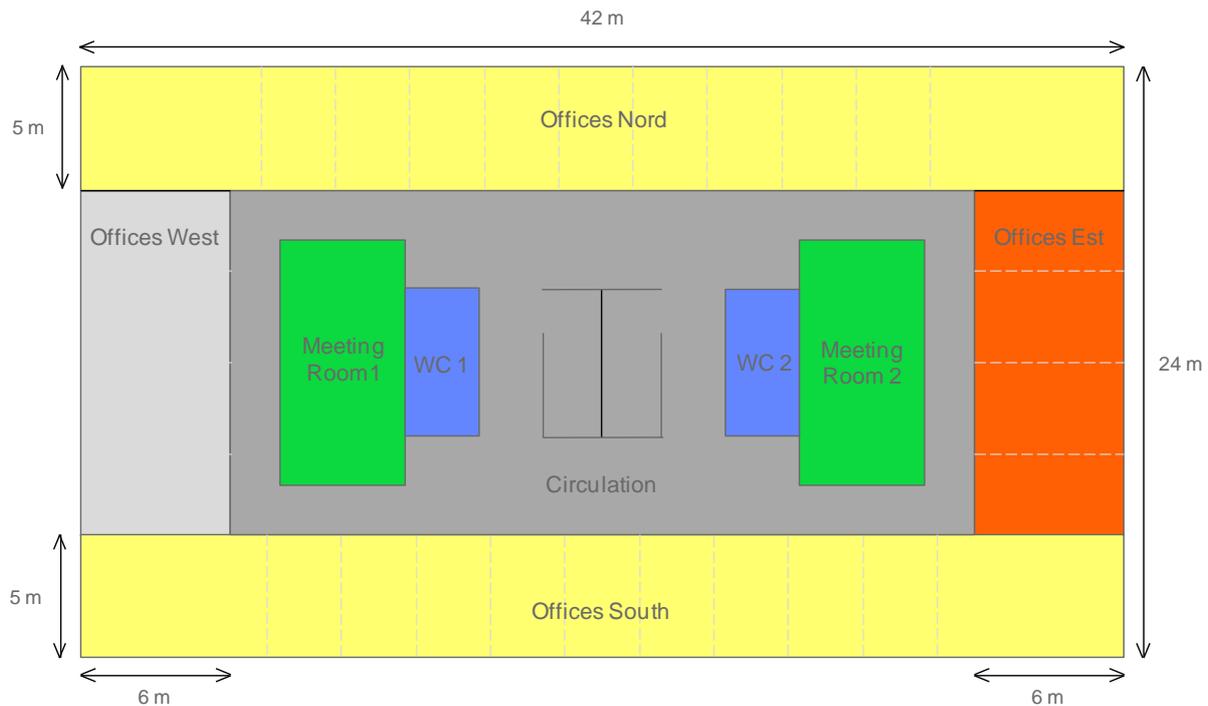


Abbildung 40: Typische Geschosseinteilung

Mehrere Lösungen:

Die drei Gebäude unterscheiden sich nur hinsichtlich ihrer Tragsysteme (Stützen, Träger und Platten) und dem stabilisierenden Kern. Alle anderen Elemente des Tragwerks (Gründung und Unterbau), die Gebäudehülle und der interne Ausbau sind identisch.

Die von den Gebäuden erbrachte Leistung wird als gleichwertig angenommen, da die Nutzflächen gleich sind, auch wenn das Gebäude mit dem Verbundtragwerk ein leicht höheres Volumen als das aus Beton hat.

Die Gebäude sind für die Klimaregion Paris entwickelt.

Die angenommene Nutzungsdauer (Life Time Scheduled - LTS) für Gebäude beträgt 100 Jahre. Tatsächlich wird die Nutzungsdauer der meisten Bürogebäude von den Tragwerkselementen bestimmt; die anderen Elemente können renoviert oder ersetzt werden. In dieser Studie wird davon ausgegangen, dass die Materialien der Tragwerke alle einer Nutzungsdauer von 100 Jahren gerecht werden. Es ist daher anzumerken, dass die Nutzungsdauer kein differenzierendes Kriterium bei den in dieser Studie untersuchten Gebäuden darstellt.

1. Stahl-Beton-Verbundlösung

Das Verbundbauwerk hat ein Stahl-Beton-Verbundtragwerk und einen Betonkern.

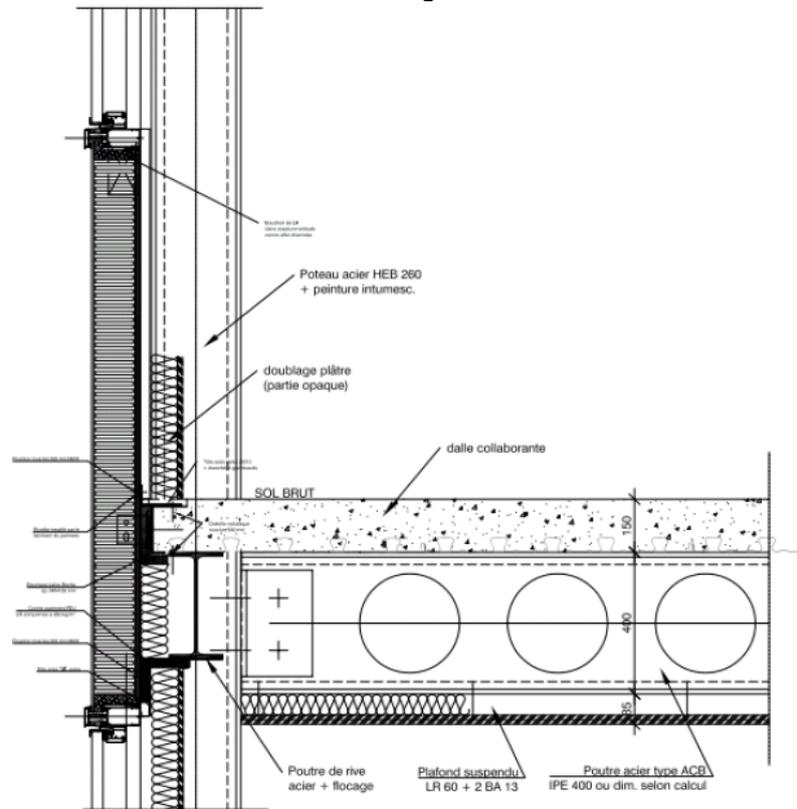


Abbildung 41: Detailansicht des Tragwerks

Wie in Abbildung 41 gezeigt, besteht das Tragwerk aus Verbundstegträgern aus Stahl S355, die mit der Verbunddecke verbunden sind.

Die Verbunddecke besteht aus einem Stahlblech COFRA+60 und Beton C30/37.

Der Kern des Gebäudes ist aus Beton.

Diese Struktur entspricht dem Stand der Technik für Bürogebäude in Frankreich.

2. Betonlösung

Das Betongebäude hat eine vorgefertigte Hohlkernplatte, die durch ein Stahlbetontragwerk und einen Betonkern unterstützt wird.

Die vorgefertigte Hohlkernplatte und der Stahlbeton sind aus Beton C30/37.

Der Kern des Gebäudes ist aus Beton.

Diese Struktur entspricht ebenfalls dem Stand der Technik für Bürogebäude in Frankreich.

3. Öko-optimierte Stahl-Beton-Verbundkonstruktion

Die öko-optimierte Variante hat ein Stahl-Beton-Verbundtragwerk und einen Stahlkern.

Das Tragsystem besteht aus Verbundstegträgern aus Stahl S460, die mit der Verbunddecke verbunden sind.

Die Verbunddecke besteht aus einem Stahlblech COFRA+60 und Beton C30/37.

Der Kern des Gebäudes ist aus Stahl.

Das System basiert auf dem aktuellen Stand der Technik in Frankreich, wurde jedoch im Hinblick auf den Materialeinsatz optimiert, um den ökologischen Fußabdruck zu minimieren.

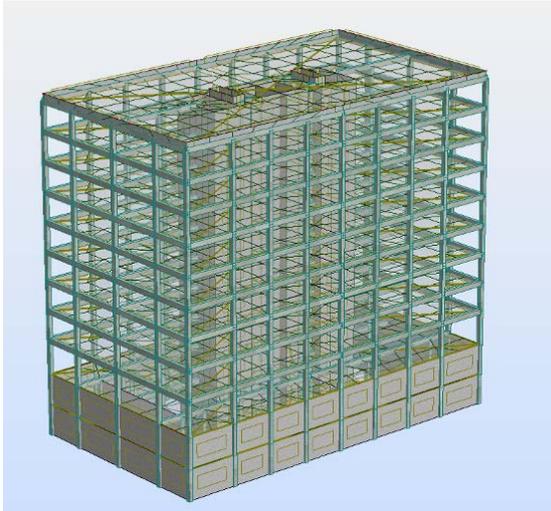
Zentraler Kern der Gebäude:

Abbildung 42: Betonkern (Lösungen 1 & 2)

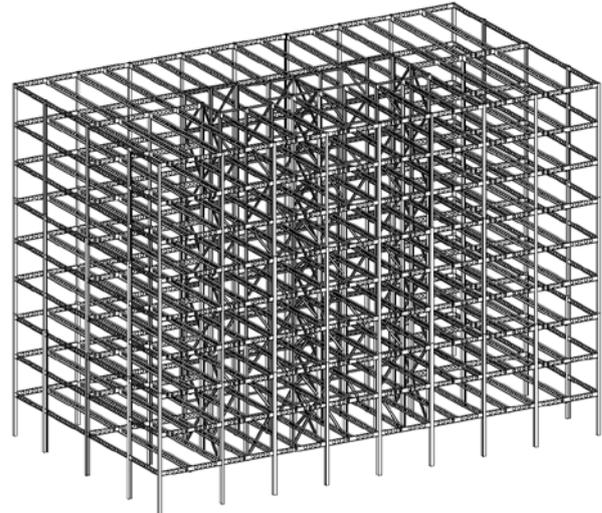


Abbildung 43: Stahlkern (Lösung 3)

Tragwerksdaten für die 3 Lösungen:

aufgehende Konstruktion	Tragwerk				Deckenplatten			
	Stahl- träger	Blech- verbindungen	Beton C30/37	Stahl- bew.	Stahl- elemente	Gesamt- dicke	Beton- decke	Stahl- bew.
Werte in Tonnen (t)								
Stahl S355	239,9 t	14,994 t	-	-	70,6 t (Cofra- plus 60)	150 mm	2.246 t	16,56 t
Beton-Tragwerk	-	-	1.199 t	5,1 t	-	240 mm + 70 mm Estrich	4.688 t	16,56 t
Stahl S460	197,1 t	11,827 t	-	-	70,6 t (Cofra- plus 60)	150 mm	2.246 t	16,56 t
Stahlkern	75,46 t	6,037 t	-	-	-	-	-	-
Betonkern	-	-	1.941 t	44,16 t				

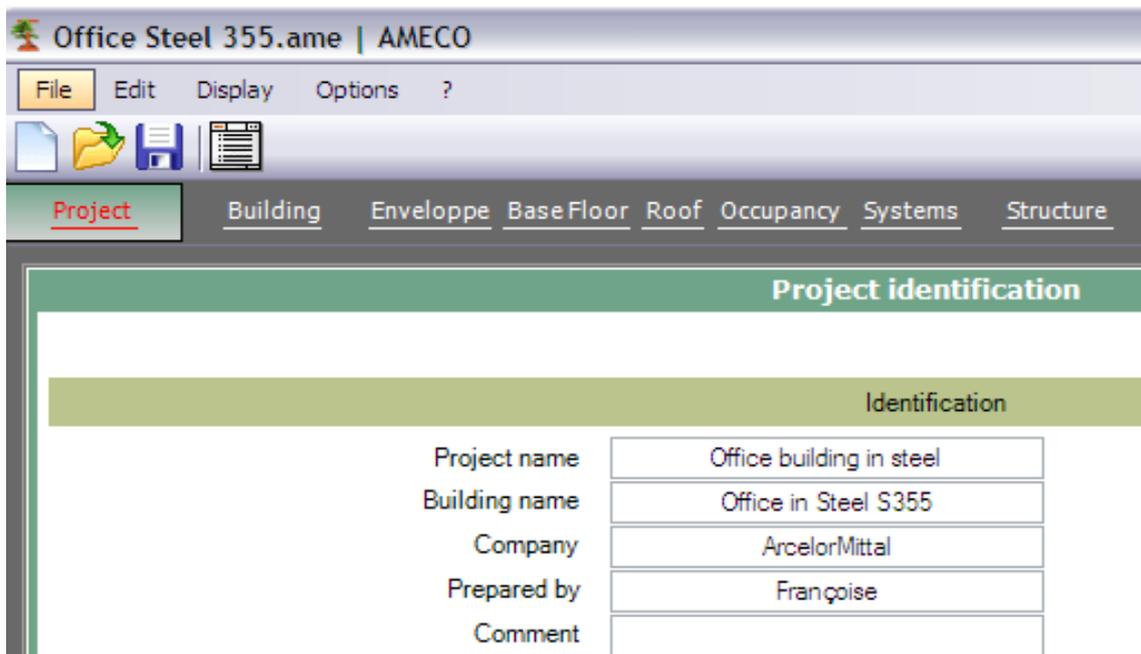
mit: Gebäude 1 = Stahl-Tragwerk S355, und Betonkern
 Gebäude 2 = Beton-Tragwerk, mit Betonkern
 Gebäude 3 = Stahl-Tragwerk S460, und Stahlkern

NB: Betondichte = 2500 kg/m³

7.1.3 Umweltbewertung mit der AMECO3-Software

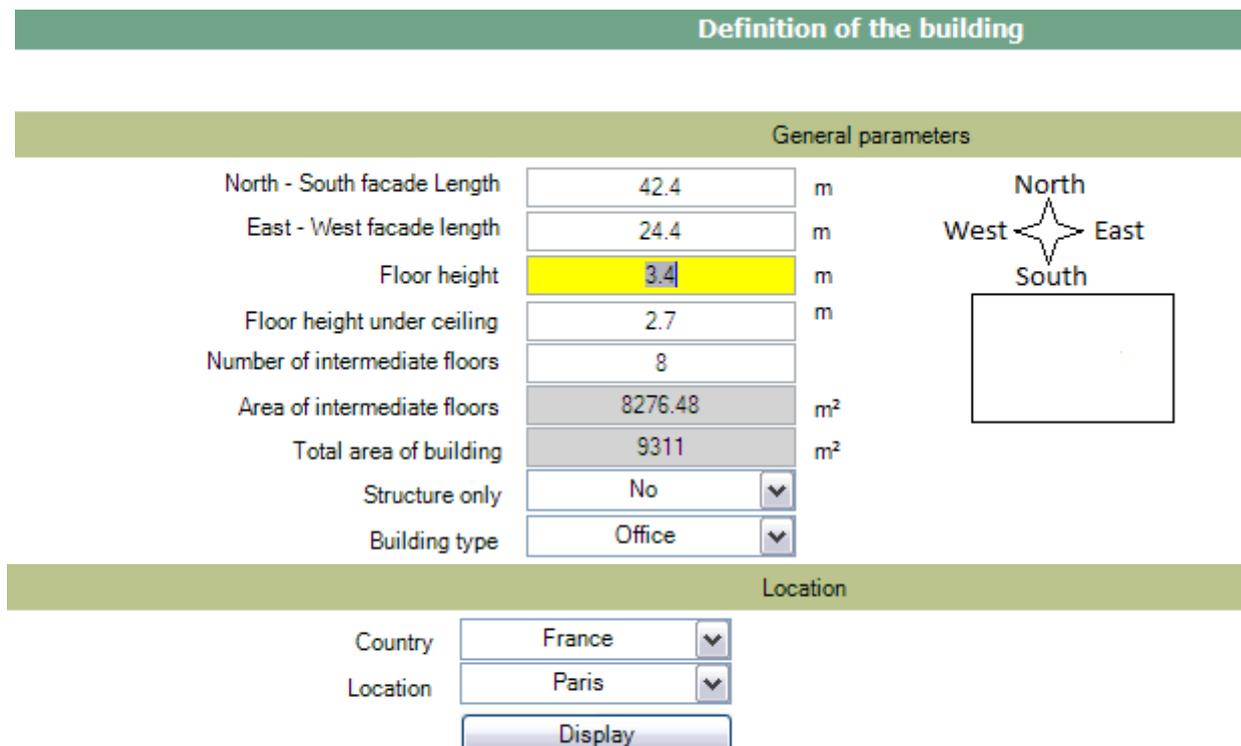
7.1.3.1 Dateneingabe in AMECO3

⇒ Allgemeine Dateneingabe für Gebäude 1 in AMECO3



⇒ Dateneingabe für die Gebäudehülle (Module A-C-D)

- Definition der allgemeinen Gebäudedaten:



- Definition der Gebäudehülle: thermische Eigenschaften (U-Werte) für die Hülle (Wände, Fenster, Boden and Dach) werden für die in AMECO3 implementierten Komponenten übernommen.

Envelope Base Floor Roof Occupancy Systems Structure Floors Transport Results

Definition of the building envelope

Facade

Direction	North	East	South	West	
Facade area	1297.44	746.64	1297.44	746.64	m ²
Opening area	30	30	30	30	%

Facade properties

Wall type	Light steel panel wall (rock wool)	
U-value for walls	0.296	W/(m ² .K)
Opening type	Double glazing low emissivity (type 1)	
U-value for openings	1.7	W/(m ² .K)
Shading device type	No shading device	
Shutter type	No shutter	

- Definition der Bodenplatte:

Project Building Envelope **Base Floor** Roof Occupancy Systems Structure Floors Tran

Definition of the building base floor

Base floor

U-value for the base floor	0.599	W/(m ² .K)
Base floor type	Suspended Floor	
Thickness of concrete base floor	0.2	m
Mass of reinforcing steel	0	t
Internal heat capacity of ground	50000	J/(m ² .K)
Internal heat capacity of intermediate floor	50000	J/(m ² .K)
Internal heat capacity of internal wall	20000	J/(m ² .K)

Key
 1 floor slab
 h height of floor surface above stable ground level
 R₁ thermal resistance of floor construction
 R₂ effective thermal resistance of ground

- Definition des Daches:

Envelope Base Floor **Roof** Occupancy Systems Structure Floors Transport

Definition of the building roof

Roof

Roof type	Roof type 2	
U-value for the roof (flat part)	0.373	W/(m ² .K)

⇒ Dateneingabe für die Nutzungsphase des Gebäudes (Modul B)

- Definition der Belegung:

Building	Envelope	Base Floor	Roof	Occupancy	Systems	Structure
Occupancy related data						
Comfort requirements						
Heating set-point temperature		20		°C		
Cooling set-point temperature		26		°C		
Air-flow-rate (heating mode)		0.6		ac/h		
Air-flow-rate (cooling mode)		1		ac/h		

- Beschreibung der Gebäudesysteme:

Building	Envelope	Base Floor	Roof	Occupancy	Systems	Structure
Description of building systems						
Heating system						
Heating system type		Split (heating)				
Cooling system						
Cooling type system		Split (cooling)				
Mechanical ventilation system						
Heat recovery system		Yes				
Heat recovery percentage		80				
DHW system						
DHW system type		Electric boiler				

⇒ Allgemeine Daten für das Gebäudetragwerk (Module A-C-D)

- Beschreibung des Tragwerks:

Bearing structure of the building		
Steel elements		
Beams (Hot rolled profiles)	239.9	t
Columns (Hot rolled profiles)	0.0	t
Studs	0.0	t
Bolts	0.0	t
Plate Connections	14.99	t
Concrete elements		
Concrete Type	In-situ/Poured	▼
Concrete Grade	C30/37	▼
Beams	0.0	t
Columns	1941	t
Steel reinforcement	44.16	t
Wood elements		
Beams	0.0	t
Columns	0.0	t
Total mass of structure	2240	t

- Beschreibung der Deckensysteme:

Floor slabs		
Steel elements		
Type of slab	Composite slab	▼
Steel deck	Cofraplus 60	▼
Thickness of the deck	0.750	▼ mm
Mass of sheeting per m2 of floor	8.53	kg/m ²
Mass of sheeting for the building	70.6	t
Minimum depth of the floor	100	mm
Concrete elements		
Total depth of the floor	150.0	mm
Concrete Type	In-situ/Poured	▼
Concrete Grade	C30/37	▼
Total mass of the floor concrete (incl. base floor)	2735	t
Steel reinforcement	0.0	t
Total mass of the floor slabs	2805	t

⇒ Daten für den Transport der Bauteile (Modul A)

Building	Envelope	Base Floor	Roof	Occupancy	Systems	Structure	Floors	Transport
Transport parameters								
Steel elements								
Total steel transported	<input type="text" value="369.6"/>		t					
Values for the transport impacts	<input type="text" value="User values"/>		▼					
Mass transported by electric train	<input type="text" value="0.0"/>		t					
Distance	<input type="text" value="0.0"/>		km					
Mass transported by regular trucks	<input type="text" value="369.6"/>		t					
Distance	<input type="text" value="500"/>		km					
Concrete elements								
Total concrete transported	<input type="text" value="4676"/>		t					
Concrete produced on site	<input type="text" value="4676"/>		t					
Distance by mixer trucks	<input type="text" value="50.0"/>		km					
Prefabricated concrete	<input type="text" value="0.0"/>		t					
Distance by regular trucks	<input type="text" value="0.0"/>		km					

7.1.3.2 Ergebnisse der Berechnung mit AMECO3

Gebäude 1: Stahl S355 – Betonkern

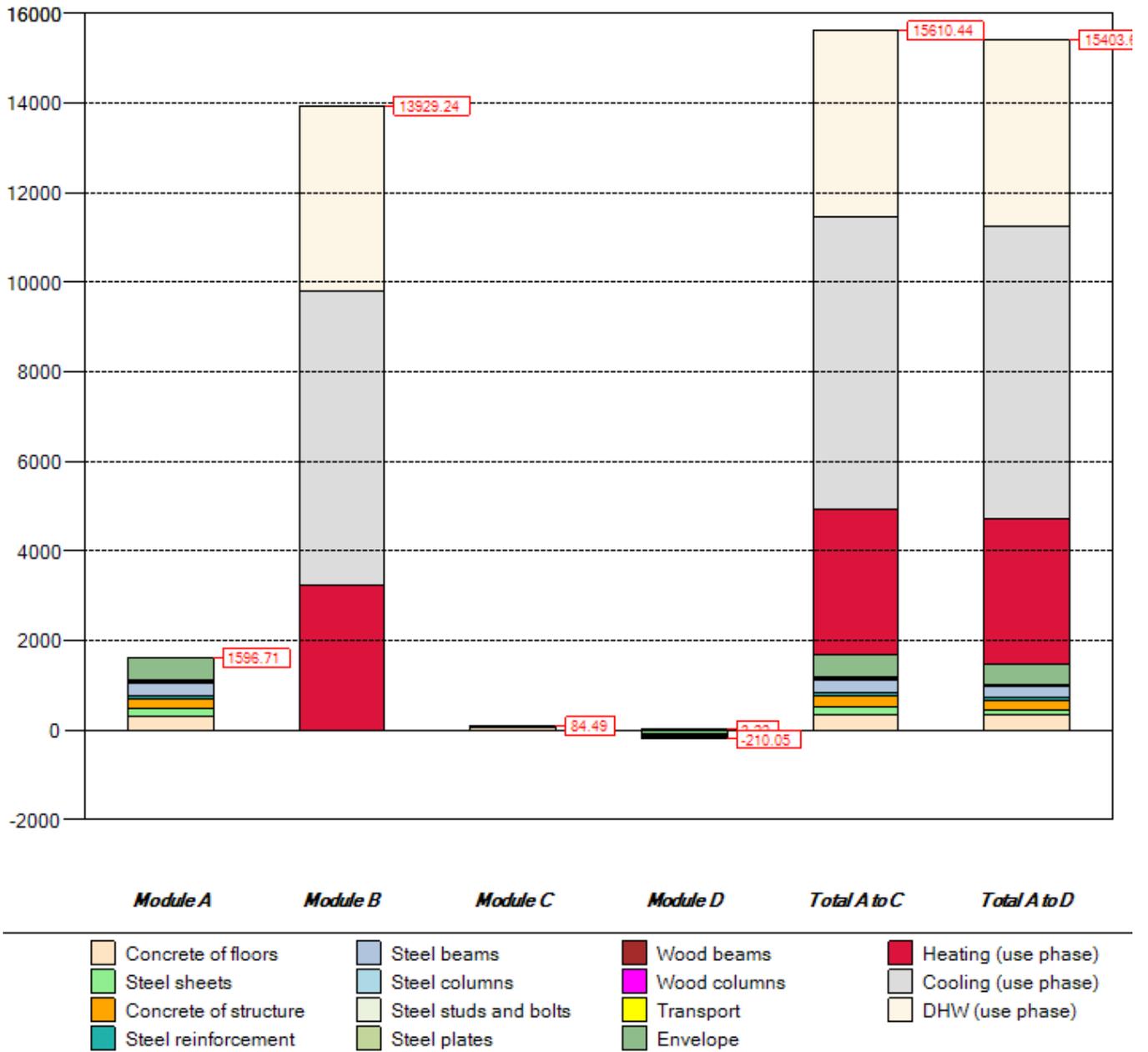
Detaillierte Ergebnisse für das Treibhauspotenzial (t CO₂-Äquivalente):

Bürogebäude aus Stahl S355	Modul A t CO ₂ -Äqv.	Modul B t CO ₂ -Äqv.	Modul C t CO ₂ -Äqv.	Modul D t CO ₂ -Äqv.	Summe A-C t CO ₂ -Äqv.	Summe A-D t CO ₂ -Äqv.
Summe Stahl	549,17	0	4,71	-148,78	553,88	405,1
Träger	276,92	0	1,38	-40,71	278,3	237,59
Stützen	0	0	0	0	0	0
Blechverbindungen	36,84	0	0,09	-19,66	36,93	17,27
Bewehrung	54,93	0	2,8	3,22	57,73	60,95
Deckenbleche	180,48	0	0,44	-91,63	180,92	89,29
Beton Summe	520,77	0	63,22	-3,51	583,99	580,48
Beton des Tragwerks	216,19	0	23,02	-2,74	239,21	236,47
Betondecken/-platten	304,58	0	40,2	-0,77	344,78	344,01
Gebäudehülle	489,99	0	16,55	-54,54	506,54	452
Summe Nutzungsphase	0	13929,24	0	0	13929,24	13929,24
Heizung	0	3233,37	0		3233,37	3233,37
Kühlung	0	6543,84	0		6543,84	6543,84
Warmwasser	0	4152,03	0		4152,03	4152,03
Transport	36,78	0	0		36,78	36,78
Gesamtwirkung Modul	1596,71	13929,24	84,48	-206,83	15610,43	15403,6

Anhand der Ergebnisse kann festgestellt werden, dass Modul B, das die Nutzungsphase darstellt, im Vergleich zu den anderen Modulen dominiert.

Grafische Darstellung Treibhauspotenzial (t CO₂-Äquivalente):

Global Warming Potential (tCO₂eq)



Gebäude 2: Betontragwerk und -kern

Detaillierte Ergebnisse für das Treibhauspotenzial (t CO₂-Äquivalente):

Bürogebäude aus Beton	Modul A t CO ₂ -Äqv.	Modul B t CO ₂ -Äqv.	Modul C t CO ₂ -Äqv.	Modul D t CO ₂ -Äqv.	Summe A-C t CO ₂ -Äqv.	Summe A-D t CO ₂ -Äqv.
Summe Stahl	128,45	0	6,55	7,54	135	142,54
Träger	0	0	0	0	0	0
Stützen	0	0	0	0	0	0
Blechverbindungen	0	0	0	0	0	0
Bewehrung	128,45	0	6,55	7,54	135	142,54
Deckenbleche	0	0	0	0	0	0
Summe Beton	1078,55	0	133,44	-6,28	1211,99	1205,71
Betontragwerk	349,74	0	37,24	-4,43	386,98	382,55
Betondecken/-platten	728,81	0	96,2	-1,85	825,01	823,16
Gebäudehülle	489,99	0	16,55	-54,54	506,54	452
Summe Nutzungsphase	0	13929,24	0	0	13929,24	13929,24
Heizung		3233,37			3233,37	3233,37
Kühlung		6543,84			6543,84	6543,84
Warmwasser		4152,03			4152,03	4152,03
Transport	60,56	0	0	0	60,56	60,56
Gesamteinfluss Modul	1757,55	13929,24	156,54	-53,28	15843,33	15790,05

Gebäude 3: Stahltragwerk und -kern S460

Detaillierte Ergebnisse für das Treibhauspotenzial (t CO₂-Äquivalente):

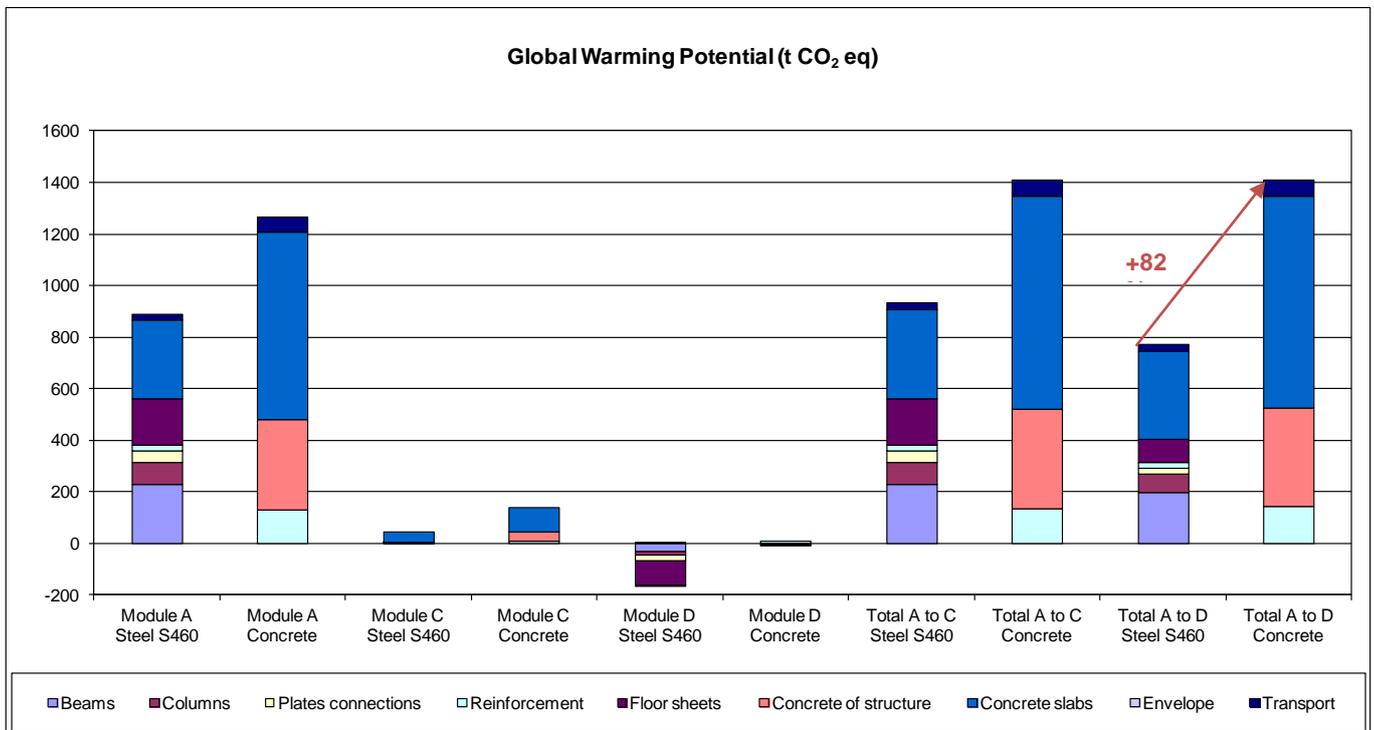
Bürogebäude aus Stahl S460	Modul A t CO ₂ -Äqv.	Modul B t CO ₂ -Äqv.	Modul C t CO ₂ -Äqv.	Modul D t CO ₂ -Äqv.	Summe A-C t CO ₂ -Äqv.	Summe A-D t CO ₂ -Äqv.
Summe Stahl	559,6	0	3,15	-160,09	562,75	402,66
Träger	227,51	0	1,13	-33,44	228,64	195,2
Stützen	87,1	0	0,43	-12,8	87,53	74,73
Blechverbindungen	43,91	0	0,1	-23,43	44,01	20,58
Bewehrung	20,6	0	1,05	1,21	21,65	22,86
Deckenbleche	180,48	0	0,44	-91,63	180,92	89,29
Summe Beton	304,58	0	40,2	-0,77	344,78	344,01
Beton des Tragwerks	0	0	0	0	0	0
Betondecken/-platten	304,58	0	40,2	-0,77	344,78	344,01
Gebäudehülle	489,99	0	16,55	-54,54	506,54	452
Summe Nutzungsphase	0	13929,24	0	0	13929,24	13929,24
Heizung		3233,37			3233,37	3233,37
Kühlung		6543,84			6543,84	6543,84
Warmwasser		4152,03			4152,03	4152,03
Transport	25,31	0	0	0	25,31	25,31
Gesamteinfluss Modul	1379,48	13929,24	59,9	-215,4	15368,62	15153,22

Auch hier kann wieder bei allen drei Gebäuden festgestellt werden, dass Modul B, also die Nutzungsphase des Gebäudes, im Vergleich zu den anderen Modulen dominiert. Darüber hinaus ist die Nutzungsphase offensichtlich nicht von der Art des Tragwerks (Beton oder Stahl) abhängig.

Diese Ergebnisse zeigen, dass das Tragwerk im Vergleich zur Nutzung einen sehr geringen Einfluss auf die Umweltwirkungen eines Gebäudes hat.

Die nächsten Vergleiche werden ohne Betrachtung der Nutzungsphase des Gebäudes durchgeführt. Hierdurch soll gezeigt werden, wie die Konstruktionsart die Umweltwirkungen beeinflusst.

Der Vergleich zwischen den Gebäuden aus Beton und der öko-optimierten Verbundbauweise wird in der nachstehenden Abbildung dargestellt.



Bei Auswertung der CO₂-Wirkungen zeigen die Ergebnisse der Software, dass es einen großen Unterschied zwischen dem Betongebäude und dem öko-optimierten Gebäude gibt. Dieser kann 82 % betragen, wenn das Recycling von Stahl und die Aufbereitung des zerkleinerten Betons berücksichtigt werden.

Die Studie beweist deutlich, dass die Nutzung von Stahl-Beton-Verbundkonstruktionen in Bezug auf den ökologischen Fußabdruck eine Vielzahl von Vorteilen mit sich bringt. Dies liegt vor allem an dem geringen Gewicht von Verbundkonstruktionen. Es wurde gezeigt, dass ein den Materialeinsatz minimierendes Design eine Verkleinerung des ökologischen Fußabdrucks des Tragwerks eines Gebäudes ermöglicht.

Das Materialrecycling am Lebensende (unendliches Recycling von Stahl und Aufbereitung von zerkleinertem Beton) maximiert die Nachhaltigkeit von Tragwerken. Die Berücksichtigung von Modul D nach EN 15804 erlaubt die Optimierung des ökologischen Fußabdrucks eines Gebäudes.

Diese Studie hat gezeigt, dass die Stahl-Beton-Verbundkonstruktionen eindeutig die beste Wahl für das Tragwerk von Bürogebäuden darstellt. Diese Lösung erlaubt die Nutzung beider Materialien mit ihren „besten Eigenschaften“, also Beton mit Druckbelastung und Stahl mit Zugbelastung. Sie führt zu einer Verkleinerung des ökologischen Fußabdrucks eines Gebäudes.

Die gleiche Schlussfolgerung kann für die Verwendung von hochfestem Stahl gezogen werden. Sie verringert die Summe der Umweltwirkungen von Verbundkonstruktionen durch Minimierung des Materialeinsatzes.

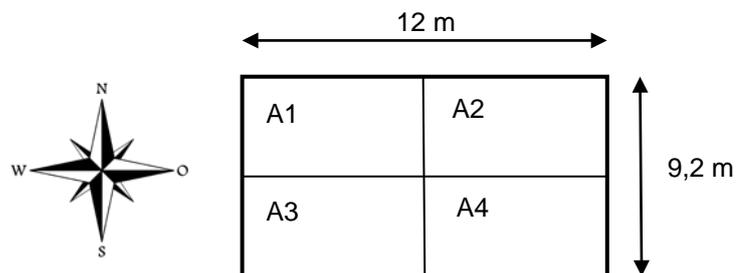
7.2 Wohngebäude - CasaBuna Wohnhaus in Rumänien

7.2.1 Beschreibung des Gebäudes

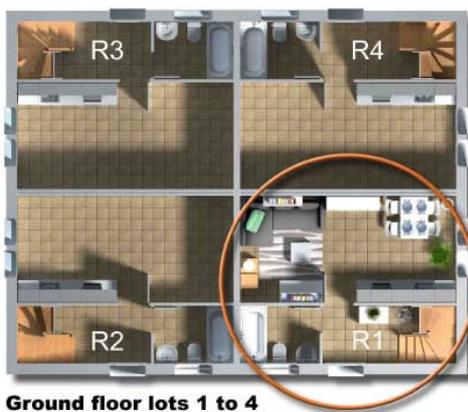
CasaBuna ist ein 4-Familienhaus in Rumänien.



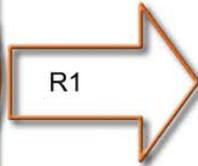
CasaBuna besteht aus 4 Wohnungen mit je 55 m² Fläche, gleichmäßig verteilt über 2 Geschosse.



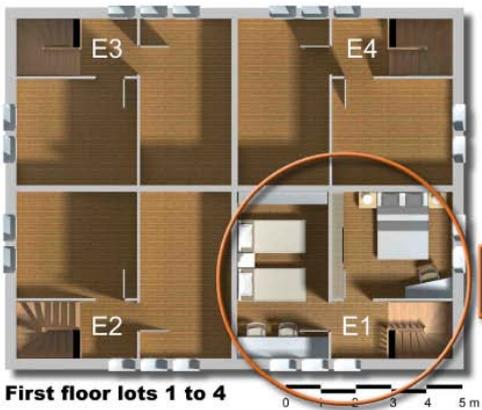
Die Gesamthöhe des Gebäudes beträgt 6,85 m bis zur Oberseite des geneigten Daches. Da nur Flachdächer in AMECO3 modelliert werden können, beträgt die durchschnittliche Geschosshöhe 2,9 m. Ein vertikaler Querschnitt und die Geschossansichten des Gebäudes werden in den nachstehenden Abbildungen dargestellt.



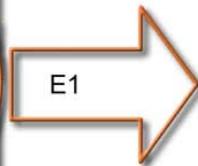
Ground floor lots 1 to 4



Ground floor lot 1



First floor lots 1 to 4

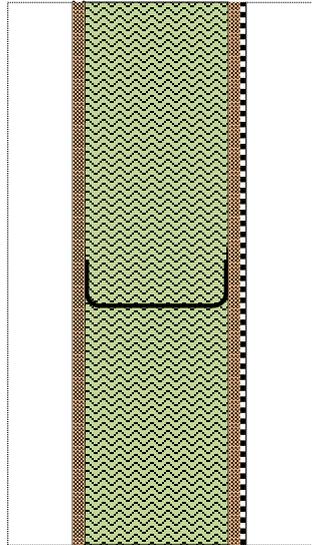


First floor lot 1

Die nächste Tabelle fasst die Flächen der Gebäudehülle zusammen:

	Nord/Süd [m ²]	West/Ost [m ²]	Summe [m ²]
Wände	54,29	46,96	202,49
Fenster	15,31	6,40	43,42
Gesamtflächen	69,6	53,36	245,92

Die Fassade basiert auf einer leichten Stahlrahmenkonstruktion, umhüllt von einer Holzplatte (OSB), 120 mm Steinwolle und Gipsplatten auf der Innenseite. Der Fassadenaufbau wird in der nachfolgenden Abbildung dargestellt:



Im Gebäude wird kein zusätzliches Tragwerk eingebaut.

Die Bodenplatte besteht aus Stahlbeton, ist 0,2 m dick und isoliert mit 4 cm extrudiertem Polystyrol. Das Gewicht der Bewehrung beträgt 0,7 Tonnen. Die Zwischendecke wurden als Trockendecke ausgeführt.

Die Fenster sind doppelverglast und haben einen niedrigen Emissionsgrad sowie PVC-Rahmen.

Die nachstehende Tabelle beinhaltet die U-Werte der Gebäudeelemente.

Wände	0,30	W/m ² .K
Flachdach	0,37	W/m ² .K
Fenster	1,70	W/m ² .K
Bodenplatte	0,60	W/m ² .K

Zudem müssen die innere Wärmespeicherefähigkeit der Decken und Innenwände angegeben werden. Die Einzelheiten der Berechnung werden nachfolgend gezeigt:

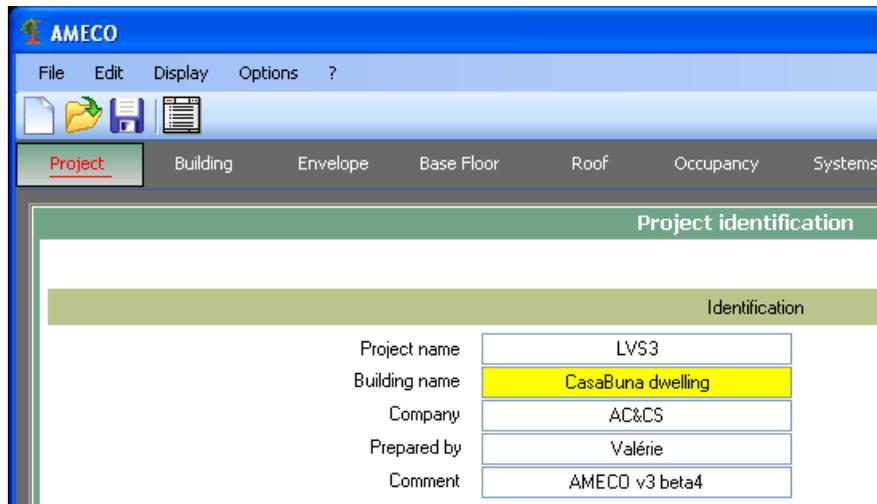
Bodenplatte 0,2 m Beton + Fliesen	74.324	J/m ² K
Zwischendecke Linoleum + OSB + Stahlblech + Luftschicht + Gipsplatten	32.447	J/m ² K
Innenwände Gipsplatten + Steinwolle + leichte Stahlrahmen + Gipsplatten	13.081	J/m ² K

Heizung und Kühlung erfolgen über ein Split-System mit Solltemperaturen von 20 bzw. 25°C. Das Gebäude hat eine natürliche Lüftung. Das Warmwassersystem besteht aus einem Elektroboiler mit 90% Effizienz.

Die Gründung wird, ebenso wie die Trennwände und Türen, nicht berücksichtigt. Auch leichte Arbeiten, wie der Innenausbau und Möbel, werden ausgeschlossen. Nur zusätzliche Verluste aufgrund von integrierten Wärmebrücken werden bei der Berechnung des Energiebedarfs betrachtet.

7.2.2 Dateneingabe in AMECO3

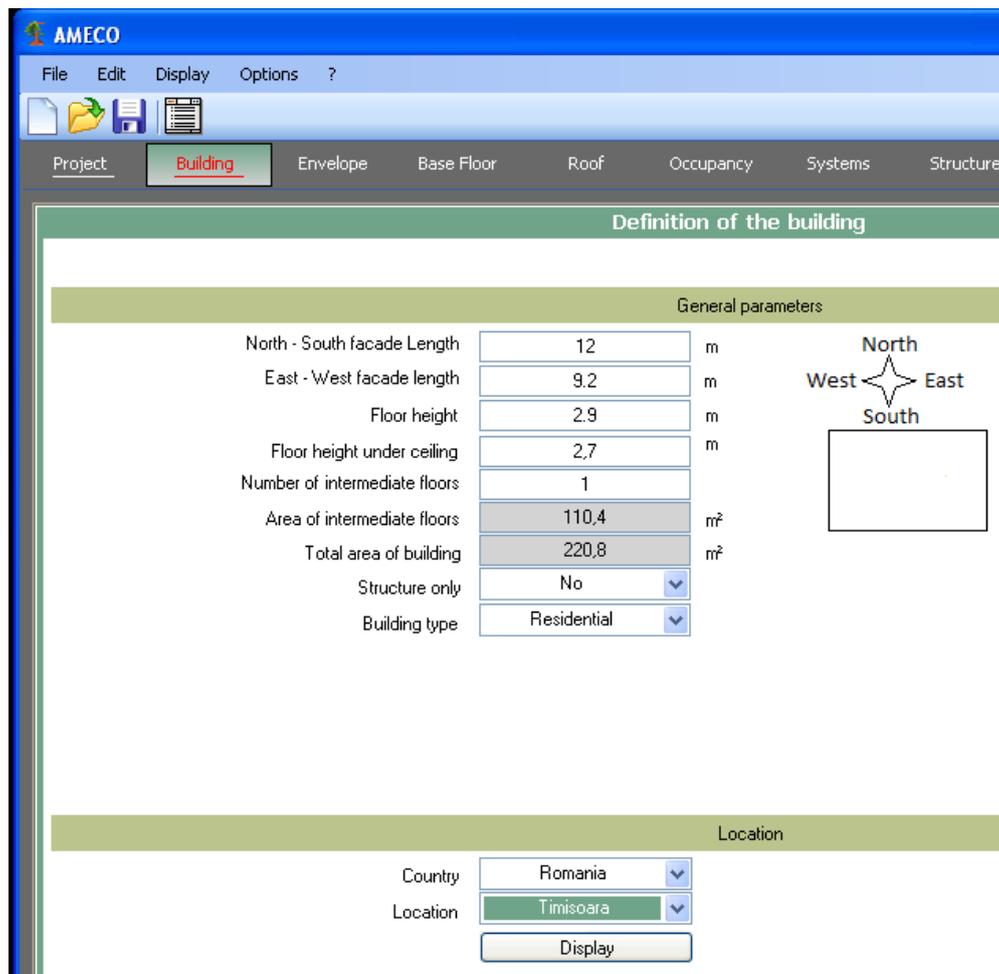
7.2.2.1 Allgemeine Dateneingabe für das Wohnhaus in AMECO3



The screenshot shows the AMECO3 software interface with the 'Project' tab selected. The 'Project identification' section is active, displaying a form with the following fields:

Identification	
Project name	LVS3
Building name	CasaBuna dwelling
Company	AC&CS
Prepared by	Valérie
Comment	AMECO v3 beta4

7.2.2.2 Dateneingabe für die Gebäudegeometrie (Module A-C-D)



The screenshot shows the AMECO3 software interface with the 'Building' tab selected. The 'Definition of the building' section is active, displaying a form with the following fields:

General parameters	
North - South facade Length	12 m
East - West facade length	9.2 m
Floor height	2.9 m
Floor height under ceiling	2.7 m
Number of intermediate floors	1
Area of intermediate floors	110,4 m ²
Total area of building	220,8 m ²
Structure only	No
Building type	Residential

Below the form, there is a compass rose indicating North, South, East, and West, and a small diagram of a building footprint. At the bottom, the 'Location' section includes:

Country	Romania
Location	Timisoara
Display	

7.2.2.3 Dateneingabe für die Gebäudekomponenten (Module A-B-C-D)

CasaBuna_Resid_CaseStudyv4.ame | AMECO

File Edit Display Options ?

Project Building **Envelope** Base Floor Roof Occupancy Systems Structure Floors Transport Results

Definition of the building envelope

Facade

Direction	North	East	South	West	
Facade area	69.6	53.36	69.6	53.36	m ²
Opening area	22	12	22	12	%

Facade properties

Wall type: Light steel panel wall (rock wool)

U-value for walls: 0.296 W/(m².K)

Opening type: Double glazing low emissivity (type 1)

U-value for openings: 1.7 W/(m².K)

Shading device type: No shading device

Shutter type: No shutter

AMECO

File Edit Display Options ?

Project Building Envelope **Base Floor** Roof Occupancy Systems Structure Floors Tran

Definition of the building base floor

Base floor

U-value for the base floor	0,599	W/(m ² .K)
Base floor type	Suspended Floor	
Thickness of concrete base floor	0.2	m
Mass of reinforcing steel	0.7	t
Internal heat capacity of ground	469660	J/(m ² .K)
Internal heat capacity of intermediate floor	37314	J/(m ² .K)
Internal heat capacity of internal wall	26782	J/(m ² .K)

Key

- 1 floor slab
- 2 height of floor surface above ground level
- 3 thermal resistance of floor construction
- 4 effective thermal resistance of ground

CasaBuna_Resid_CaseStudyv4.ame | AMECO

File Edit Display Options ?

Project Building Envelope Base Floor **Roof** Occupancy Systems Structure Floors Transport Results

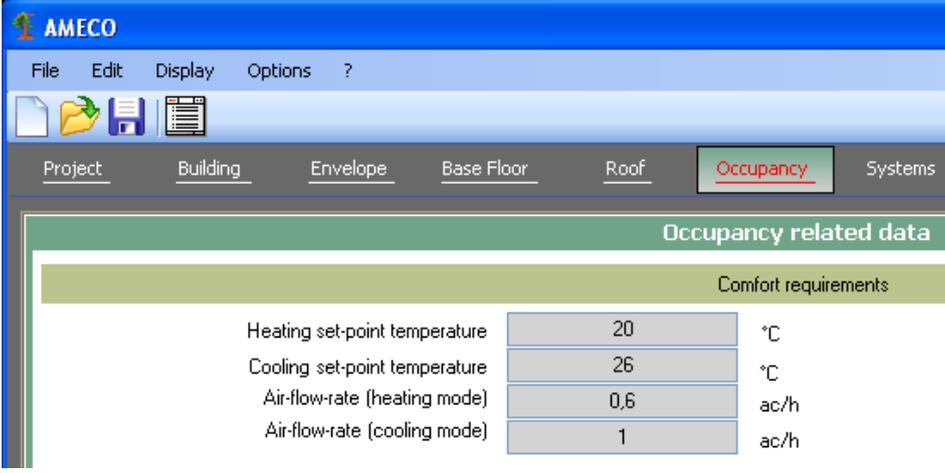
Definition of the building roof

Roof

Roof type: Roof type 2

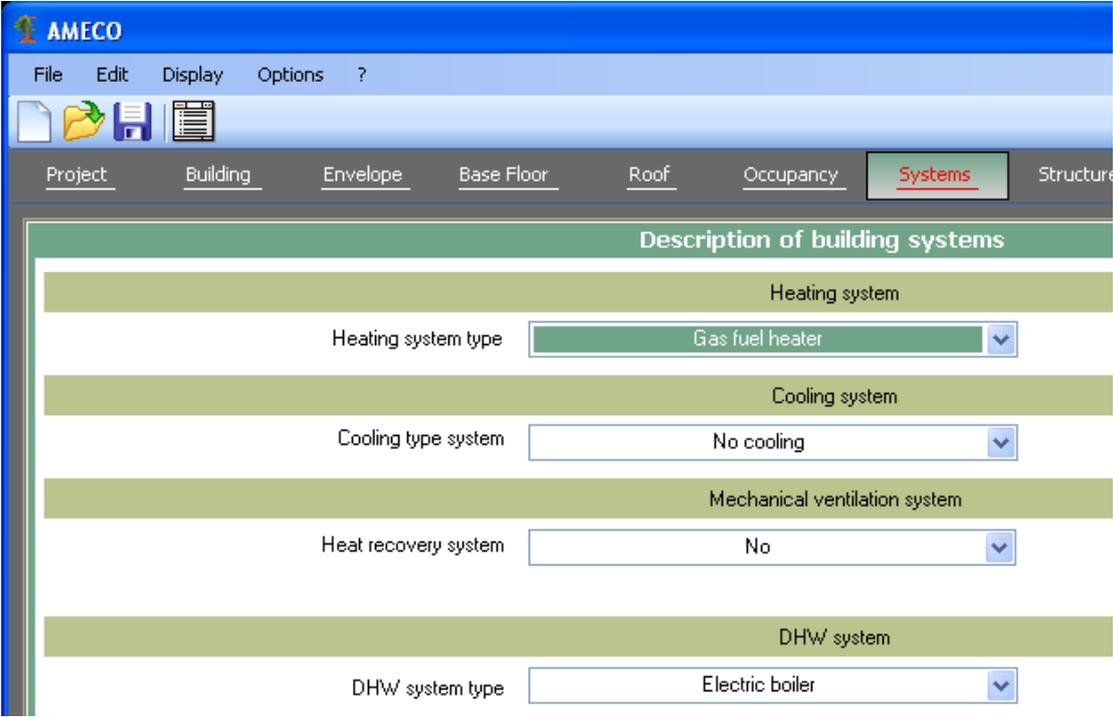
U-value for the roof (flat part): 0.373 W/(m².K)

7.2.2.4 Dateneingabe für die Nutzungsphase des Gebäudes (Modul B)



The screenshot shows the AMECO software interface with the 'Occupancy' tab selected. The main area is titled 'Occupancy related data' and contains a section for 'Comfort requirements' with the following input fields:

Parameter	Value	Unit
Heating set-point temperature	20	°C
Cooling set-point temperature	26	°C
Air-flow-rate (heating mode)	0,6	ac/h
Air-flow-rate (cooling mode)	1	ac/h



The screenshot shows the AMECO software interface with the 'Systems' tab selected. The main area is titled 'Description of building systems' and contains the following input fields:

- Heating system**
 - Heating system type: Gas fuel heater
- Cooling system**
 - Cooling type system: No cooling
- Mechanical ventilation system**
 - Heat recovery system: No
- DHW system**
 - DHW system type: Electric boiler

7.2.2.5 Allgemeine Daten für das Tragwerk des Gebäudes (Module A-C-D)

Bearing structure of the building		
Steel elements		
Beams (Hot rolled profiles)	0	t
Columns (Hot rolled profiles)	0	t
Studs	0,0	t
Bolts	0	t
Plate Connections	0,0	t
Total mass of structure	0,0	t

Floor slabs		
Steel elements		
Type of slab	Dry floor	
Steel deck	Suportsol 56	
Thickness of the deck	0,750	mm
Mass of sheeting per m2 of floor	8,00	kg/m²
Mass of sheeting for the building	0,883	t
Concrete elements		
Total mass of the floor slabs	52,99	t

7.2.2.6 Daten für den Transport der Bauteile (Modul A)

The screenshot shows the AMECO software interface with the 'Transport' module selected. The 'Transport parameters' section is active, displaying data for steel and concrete elements. The steel elements section shows a total of 1,583 t transported, with a dropdown menu set to 'Average values'. The concrete elements section shows 52,11 t total transported, with 52,11 t produced on site and 30,0 km distance by mixer trucks. Prefabricated concrete is 0,0 t with 0,0 km distance by regular trucks.

Steel elements		
Total steel transported	1,583	t
Values for the transport impacts	Average values	

Concrete elements		
Total concrete transported	52,11	t
Concrete produced on site	52,11	t
Distance by mixer trucks	30,0	km
Prefabricated concrete	0,0	t
Distance by regular trucks	0,0	km

7.2.3 Ergebnisse der Berechnung mit AMECO3

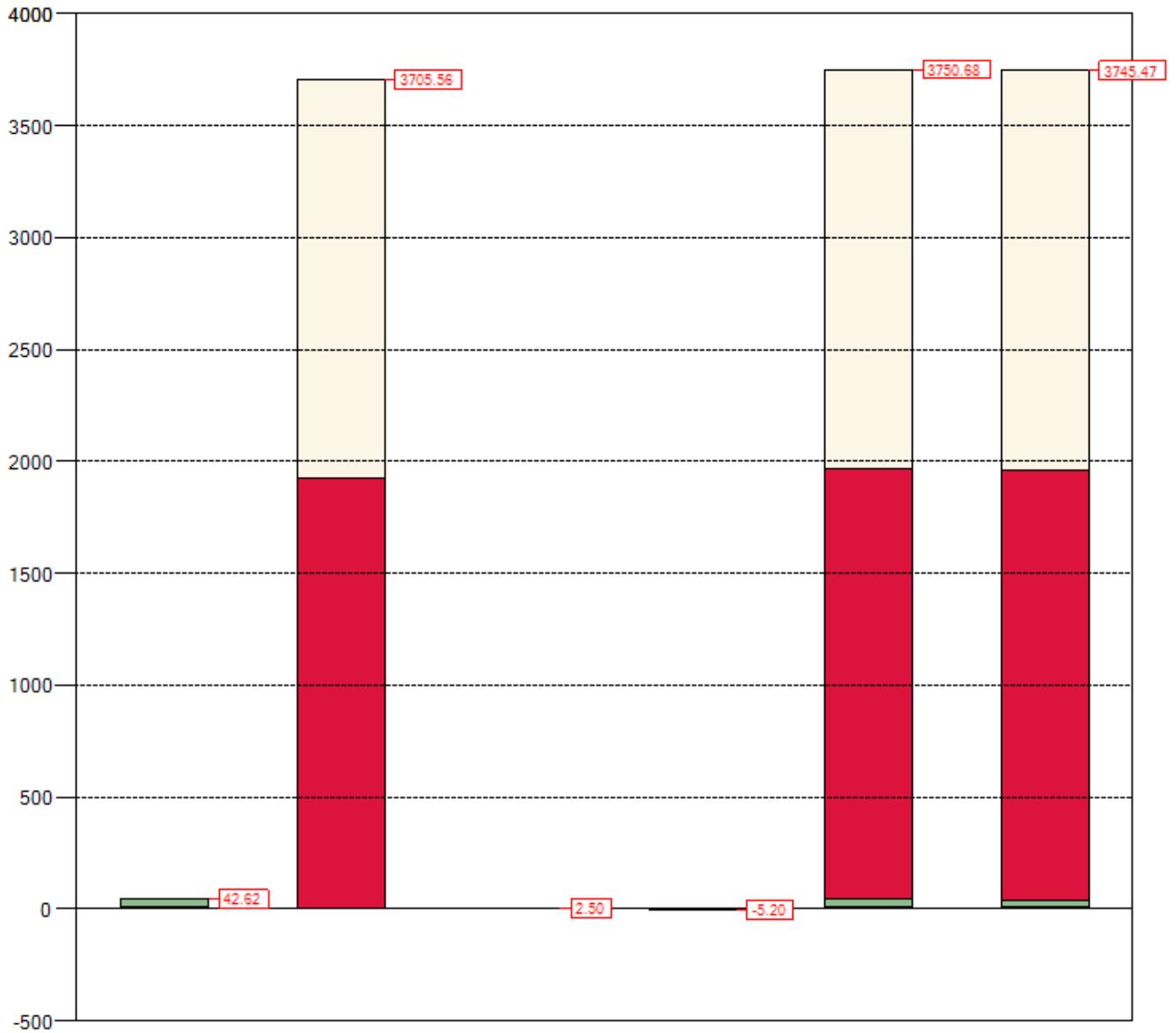
Die nachstehende Tabelle fasst die Ergebnisse für alle Umweltwirkungen über den ganzen Lebenszyklus des Wohnhauses CasaBuna zusammen:

Synthesis of results for CasaBuna dwelling

	Module A	Module B	Module C	Module D	Total A to C	Total A to D
GWP (tCO ₂ eq)	42.62	3705.56	2.50	-5.20	3750.68	3745.47
ODP (tCFCeq)	5.40E-07	1.92E-06	1.68E-07	1.04E-07	2.63E-06	2.73E-06
AP (tSO ₂ eq)	1.68E-01	1.48E01	6.82E-03	-1.54E-02	1.50E01	1.50E01
EP (tPO ₄ eq)	1.60E-02	7.56E-01	1.80E-03	-5.05E-04	7.74E-01	7.74E-01
POCP (tEtheneeq)	1.66E-02	1.88E00	1.19E-03	-3.06E-03	1.90E00	1.90E00
ADP-e (tSbeq)	8.55E-05	7.15E-04	1.06E-06	-4.81E-05	8.02E-04	7.54E-04
ADP-ff (GJ NCV)	425.87	230888.89	19.13	-81.51	231333.89	231252.38
RPE (GJ NCV)	304.22	6191.49	3.87	-70.42	6499.58	6429.16
RER (GJ NCV)	81.29	0.00	0.25	1.96	81.53	83.49
RPE-total (GJ NCV)	7.11	6191.49	0.35	0.59	6198.95	6199.54
Non-RPE (GJ NCV)	138.18	38193.48	17.25	-11.15	38348.92	38337.77
Non-RER (GJ NCV)	0.66	192789.01	0.00	0.00	192789.67	192789.67
Non-RPE-total (GJ NCV)	138.85	230982.49	17.25	-11.15	231138.59	231127.44
SM (t)	52.68	0.00	0.00	0.00	52.68	52.68
RSF (GJ NCV)	1.79	1.98	0.00	0.00	3.77	3.77
Non-RSF (GJ NCV)	18.87	20.80	0.00	0.00	39.67	39.67
NFW (1000 m ³)	1281.53	8049.61	139.52	-29.94	9470.66	9440.73
HWD (t)	5.94E-04	0.00E00	0.00E00	-1.17E-05	5.94E-04	5.82E-04
Non-HWD (t)	38.17	8431.51	1.25	-3.07	8470.93	8467.86
RWD (t)	3.11E-03	5.45E00	3.91E-06	-3.93E-04	5.45E00	5.45E00
CR (t)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MR (t)	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.76
MER (t)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
EE (t)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Die Ergebnisse zeigen, dass die Nutzungsphase bei allen Umweltwirkungen dominiert. Bei näherer Betrachtung des Treibhauspotenzials (Global Warming Potential - GWP) zeigt sich, dass die Nutzungsphase über 99% der gesamten Wirkung des Gebäudes ausmacht (vgl. nachstehende Abbildung).

Global Warming Potential (tCO₂eq)



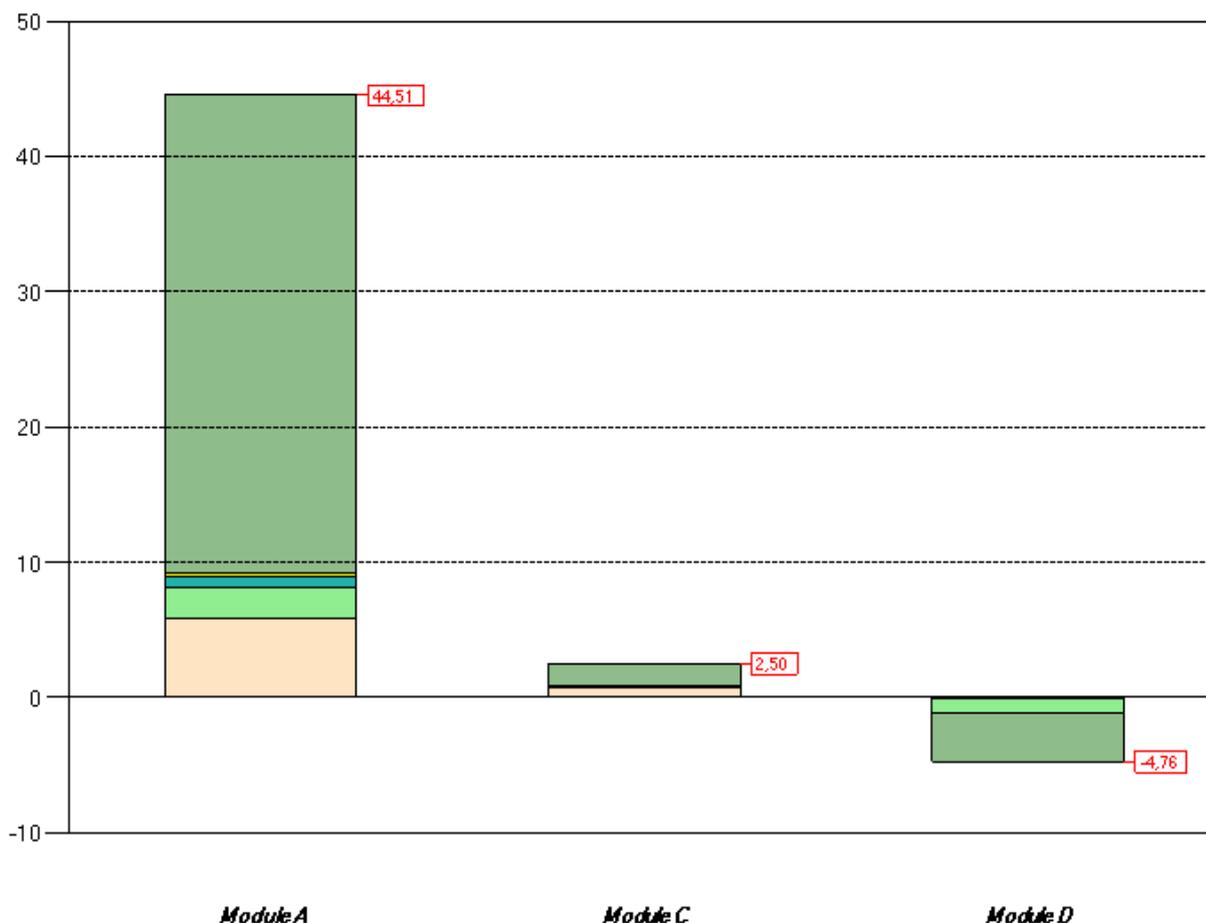
Module A Module B Module C Module D Total A to C Total A to D

- | | | |
|---------------------|-----------------------|---------------------|
| Concrete of floors | Steel columns | Envelope |
| Steel sheets | Steel studs and bolts | Heating (use phase) |
| Steel reinforcement | Steel plates | Cooling (use phase) |
| Steel beams | Transport | DHW (use phase) |

CasaBuna dwelling		GWP (tCO ₂ eq)
Module A	Concrete of floors	5.80
	Steel sheets	2.26
	Steel reinforcement	0.87
	Steel beams	0.00
	Steel columns	0.00
	Steel studs and bolts	0.00
	Plate Connections	0.00
	Transport	0.23
	Envelope	33.46
	Module A	42.62
Module B	Energy need for space heating	1922.38
	Energy need for space cooling	0.00
	Energy need for DHW production	1783.18
Module B	3705.56	
Module C	Concrete of floors	0.77
	Steel sheets	0.01
	Steel reinforcement	0.04
	Steel beams	0.00
	Steel columns	0.00
	Steel studs and bolts	0.00
	Plate Connections	0.00
	Transport	0.00
	Envelope	1.68
	Module C	2.50
Module D	Concrete of floors	-0.01
	Steel sheets	-1.15
	Steel reinforcement	0.00
	Steel beams	0.00
	Steel columns	0.00
	Steel studs and bolts	0.00
	Plate Connections	0.00
	Transport	0.00
	Envelope	-4.04
	Module D	-5.20
Total A to C	Total A to C	3750.68
Total A to D	Total A to D	3745.47

Bei alleiniger Betrachtung des Treibhauspotenzials für die Herstellungsphase (Modul A) wird deutlich, dass 79% der Umweltwirkung auf die in der Gebäudehülle eingesetzten Komponenten inklusive Fassade, Dach und Fenster entfallen.

Global Warming Potential (tCO₂eq)



Der Energiebedarf des Gebäudes beträgt 15,6 kWh/m² pro Jahr.

Use phase heating

Energy for space heating					
Heat transfer by transmission					
Walls	Glazing	Ext Floor	Roof	Ground	Total
kWh/year	kWh/year	kWh/year	kWh/year	kWh/year	kWh/year
4845.1	5968.3	0.0	3328.8	3008.7	16882.1
Heat Transfer by ventilation			Heat gains		
Ventilation			Glazed	Opaque	Internal
kWh/year			kWh/year	kWh/year	kWh/year
8963.6			14064.4	783.0	10757.0

Energy need for heating												
Qh,nd	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
kWh	911.2	606.4	435.1	129.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.9	454.8	816.6
kWh/m ²	4.1	2.7	2.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	2.1	3.7

Energy Breakdowns		
Building totals for heating		
Energy need	3454.2	kWh/year
	15.6	kWh/m ² /year
Delivered energy	3970.4	kWh/year
COP : 0.87	18.0	kWh/m ² /year
Primary	341.5	kgoe/year
fconv : 0.086	1.5	kgoe/m ² /year

7.3 Industriehalle

7.3.1 Umfang der Studie

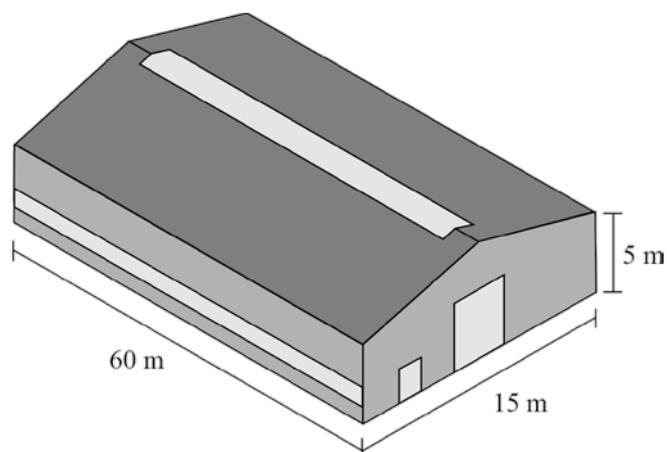
Ziel der Studie ist es, die Umweltwirkungen einer Industriehalle mit zwei unterschiedlichen Tragsystemen zu berechnen und zu vergleichen:

- Zweigelenkrahmen mit biegesteifen Rahmenecken aus warmgewalzten Profilen
- Eingespannte Stahlbetonstützen mit gelenkig angeschlossenerm Binder aus Stahlbeton

Zwei verschiedene Stahlgüten werden bei der Berechnung berücksichtigt.

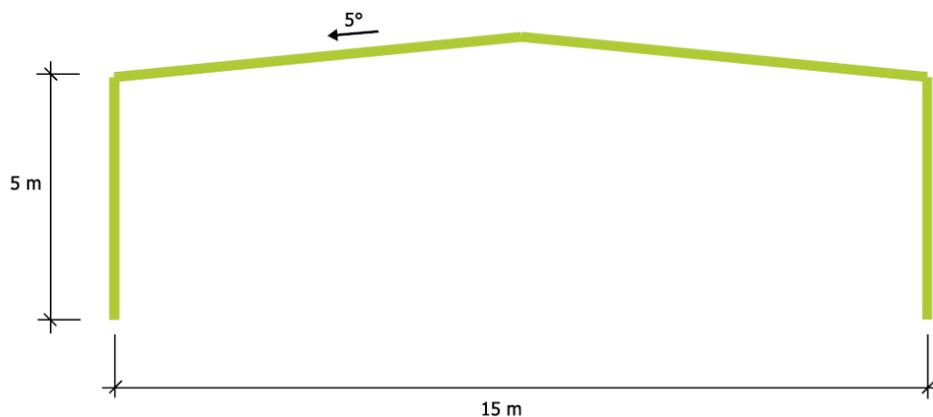
7.3.2 Beschreibung des Gebäudes

Das eingeschossige Gebäude ist eine 900 m² große Industriehalle:



7.3.3 Tragwerk

Die Spannweite des Rahmens beträgt 15 m und der Binderabstand zwischen jedem Rahmen ist 6 m. Die Höhe beträgt 5 m und die Dachneigung 5°, wie in der Grafik dargestellt:



Die Bauteile für die drei Varianten werden in der folgenden Tabelle beschrieben:

Bauteil	Variante 1 Stahlrahmen S235	Variante 2 Stahlrahmen S460	Variante 3 Betonrahmen
Binder	IPE 450	IPE 330	Betonfertigteil Einheit T80
			Bewehrung BSt500 202,5 kg/m ³
Stützen	primär: IPE400 sekundär: HEA480	primär: IPE400 sekundär: HEA480	Betonstützen 0,4x0,4m C30/37
			Bewehrung BSt500 108,1 kg/m ³

Das nachstehende Bild zeigt das Stahl-Tragwerk.



Die Gebäude sind für die Klimaregion Paris entwickelt.

Die Bodenplatte liegt auf dem Erdboden auf, ist aus Stahlbeton und hat eine Perimeterdämmung.

Die tragenden Bauteile werden in der nachstehenden Tabelle aufgelistet.

Bauteil	Variante 1 Stahlrahmen S235	Variante 2 Stahlrahmen S460	Variante 3 Betonrahmen
Binder	6,88 t	4,33 t	Beton: 34,19 t
			Bewehrung: 2,93 t
Stützen	4,17 t	4,17 t	Beton: 30,12 t
			Bewehrung: 1,38 t
Bolzen	/	/	/
Schrauben	43 kg	43 kg	/
Blechverbindungen	336 kg	336 kg	/
Bodenplatte	Beton: 425,7 kg	Beton: 425,7 kg	Beton: 425,7 kg
	14,4 t	14,4 t	14,4 t

7.3.4 Komponenten der Gebäudehülle

Die Fassade besteht aus PUR-Sandwichelementen mit 80 mm Dämmschichtdicke. Zusätzlich wird eine alternative Dämmstoffdicke von 200 mm betrachtet, um den Einfluss auf die Umweltwirkungen zu analysieren.

Das Schrägdach (5°) besteht aus unterstützenden Stahlblechen mit 1 mm Dicke und 140 mm Mineralwolle.

Die Fenster sind doppelt verglast und haben einen Aluminium-Rahmen.

Die nachstehende Tabelle gibt die U-Werte der Gebäudeelemente an.

Wände: PUR-Sandwichelemente		
Dicke: 80 mm	0,33	W/m ² .K
Dicke: 200 mm	0,12	
Dach	0,31	W/m ² .K
Fenster	2,6	W/m ² .K
Bodenplatte	0,44	W/m ² .K

Die inneren Wärmespeicherfähigkeiten der Hüllmaterialien werden nachfolgend dargestellt.

Bodenplatte 0,2 m Beton	460.000	J/m ² K
Zwischendecke	0	J/m ² K
Innenwände	0	J/m ² K

7.3.5 Heizungs-, Kühlungs- und Belüftungssysteme

Es wird eine Brennstoffheizung verwendet mit einer Solltemperatur von 20°C. Das Gebäude hat keine Kühlung, keine mechanische Lüftung und kein Warmwassersystem.

7.3.6 Hauptannahmen

Die Fundamente sowie Trennwände und Türen werden bei der Studie nicht berücksichtigt. Auch leichte Elemente, wie der Innenausbau und Möbel, werden ausgeschlossen. Nur zusätzliche Verluste aufgrund von integrierten Wärmebrücken werden bei der Berechnung des Energiebedarfs betrachtet.

7.3.7 Dateneingabe in AMECO3

7.3.7.1 Allgemeine Dateneingabe für die Industriehalle

AMECO

File Edit Display Options ?

Project Building Envelope Base Floor Roof Occupancy Systems

Project identification

Identification

Project name	Industrial LVS3 case study
Building name	Industrial Hall S235
Company	AC&CS
Prepared by	Valérie
Comment	

7.3.7.2 Dateneingabe für die Gebäudegeometrie (Module A-C-D)

AMECO

File Edit Display Options ?

Project Building Envelope Base Floor Roof Occupancy Systems Structure

Definition of the building

General parameters

North - South facade Length	60	m
East - West facade length	15	m
Floor height	5	m
Floor height under ceiling	5	m
Number of intermediate floors	0	
Area of intermediate floors	0	m ²
Total area of building	900,0	m ²
Structure only	No	
Building type	Industrial	

North
West East
South

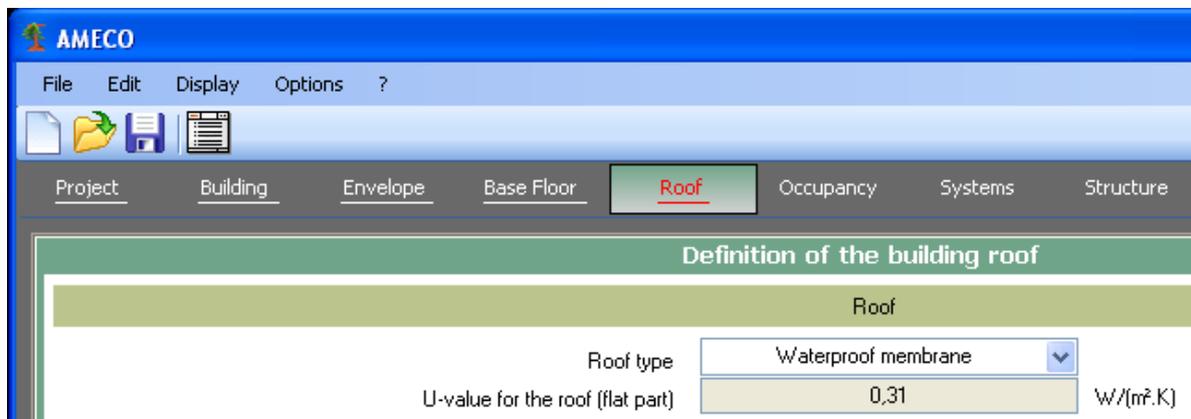
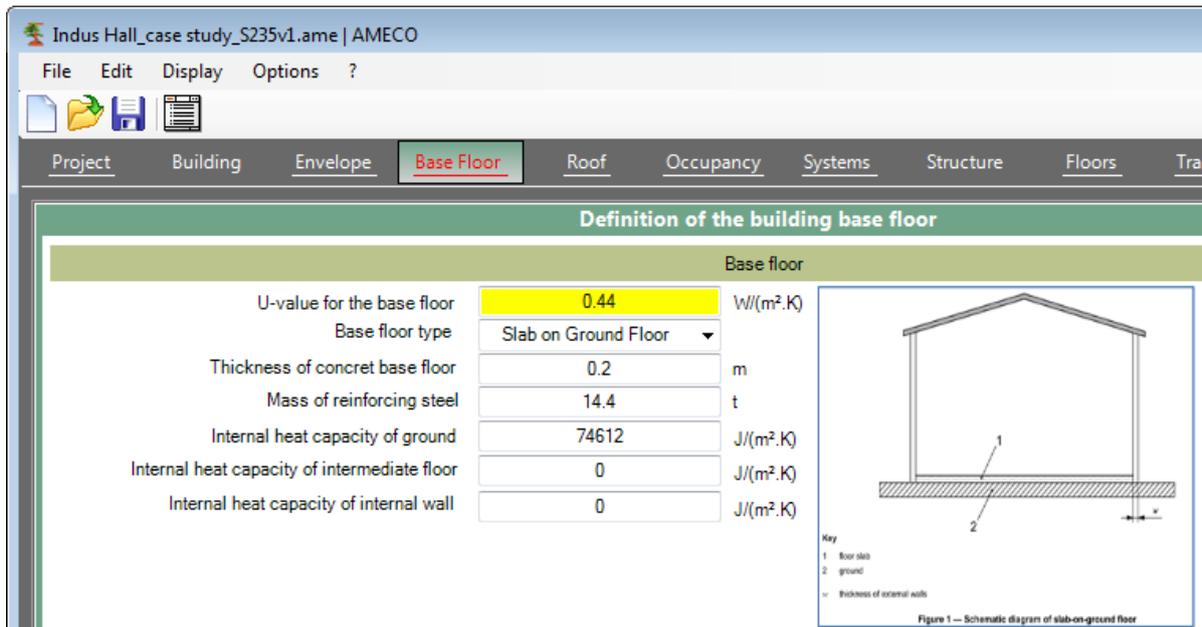
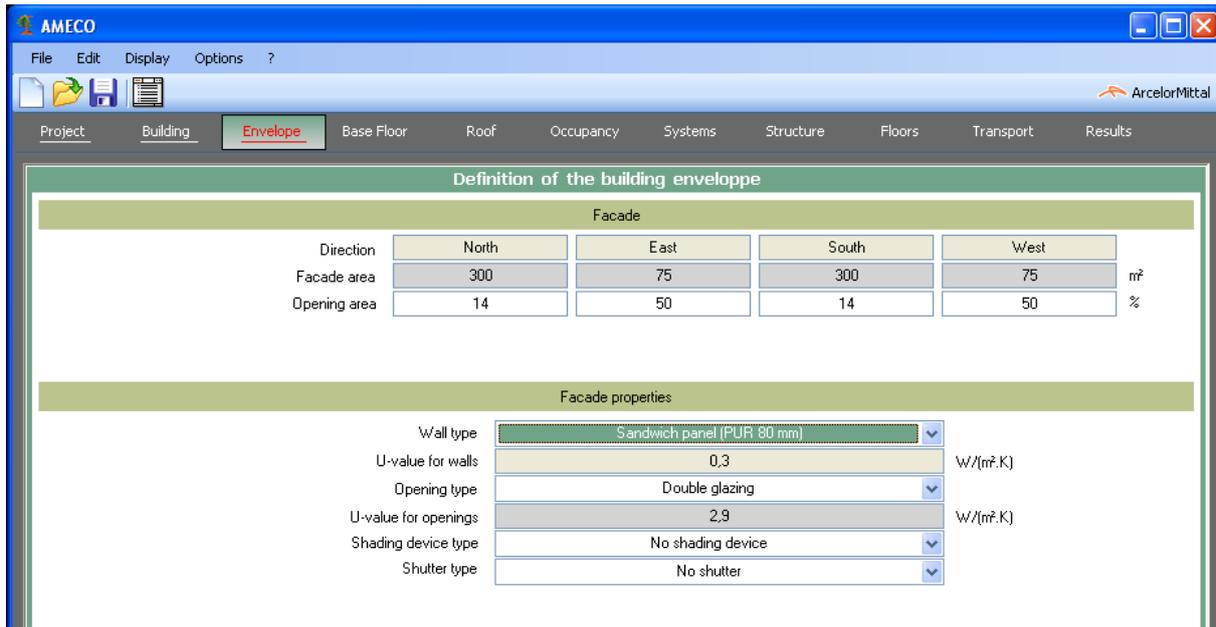
Location

Country France

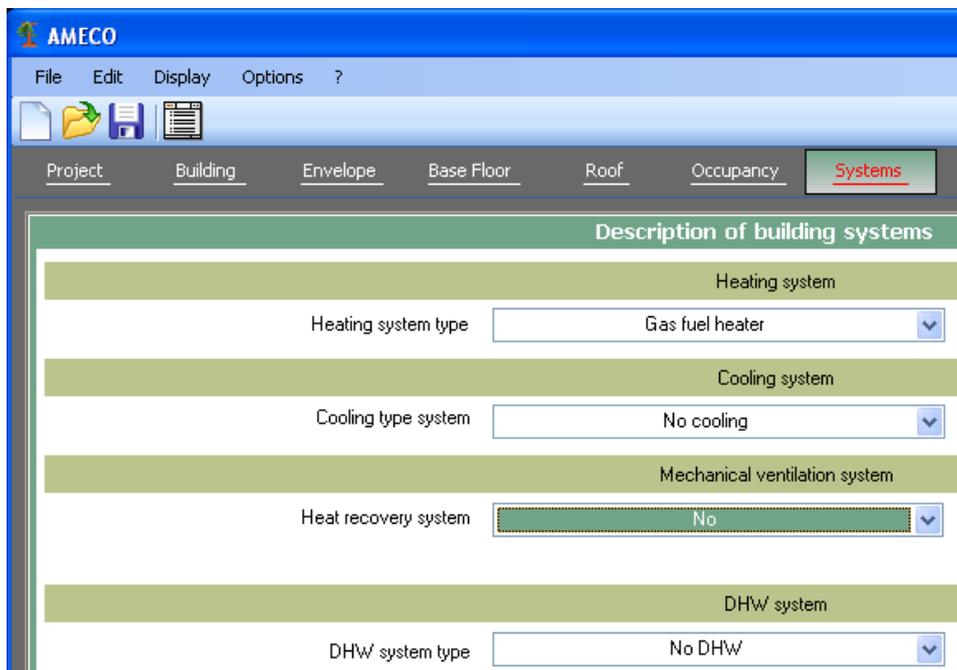
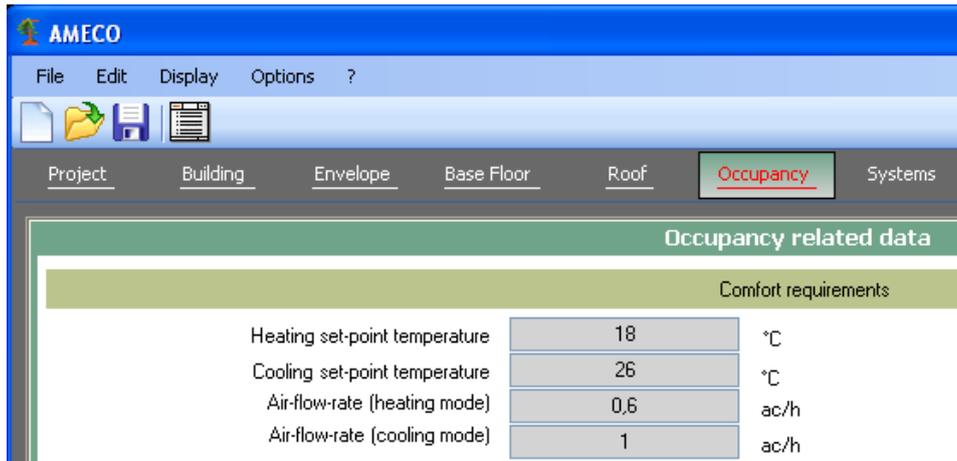
Location Paris

Display

7.3.7.3 Dateneingabe für die Gebäudekomponenten (Module A-B-C-D)

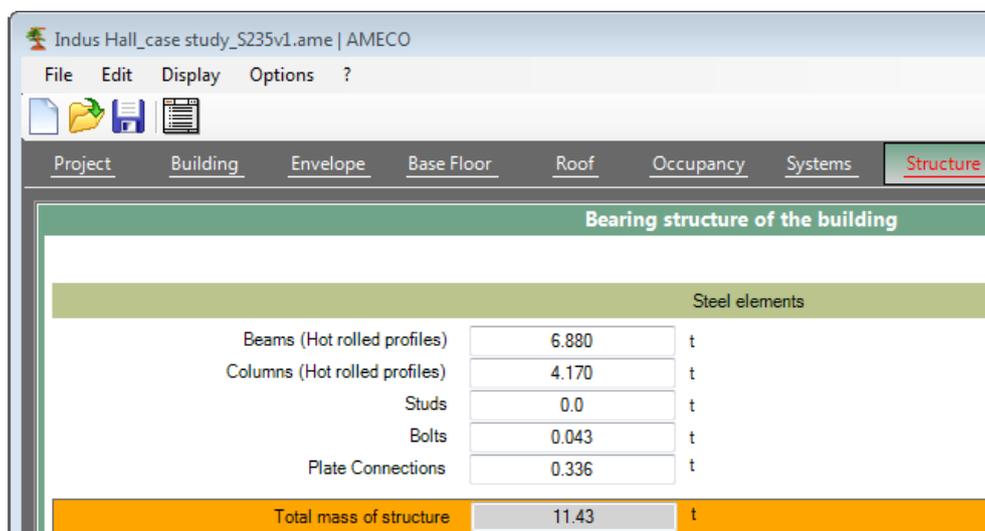


7.3.7.4 Dateneingabe für die Nutzungsphase des Gebäudes (Modul B)



7.3.7.5 Allgemeine Daten für das Tragwerk des Gebäudes (Module A-C-D)

Für die Industriehalle S235:



Für die Industriehalle S460:

Bearing structure of the building		
Steel elements		
Beams (Hot rolled profiles)	4,330	t
Columns (Hot rolled profiles)	4,170	t
Studs	0,0	t
Bolts	0,043	t
Plate Connections	0,336	t
Total mass of structure	8,879	t

7.3.7.6 Dateneingabe für den Transport der Bauteile (Modul A)

Transport parameters		
Steel elements		
Total steel transported	25,61	t
Values for the transport impacts	Average values	
Concrete elements		
Total concrete transported	424,8	t
Concrete produced on site	424,8	t
Distance by mixer trucks	30,0	km
Prefabricated concrete	0,0	t
Distance by regular trucks	0,0	km

7.3.8 Ergebnisse der Berechnung mit AMECO3

7.3.8.1 Stahltragwerk S235

Die nachstehende Abbildung zeigt die Ergebnisse für jede Umweltwirkung des Gebäudes mit einem Tragwerk aus Stahl S235.

Synthesis of results for Industrial hall

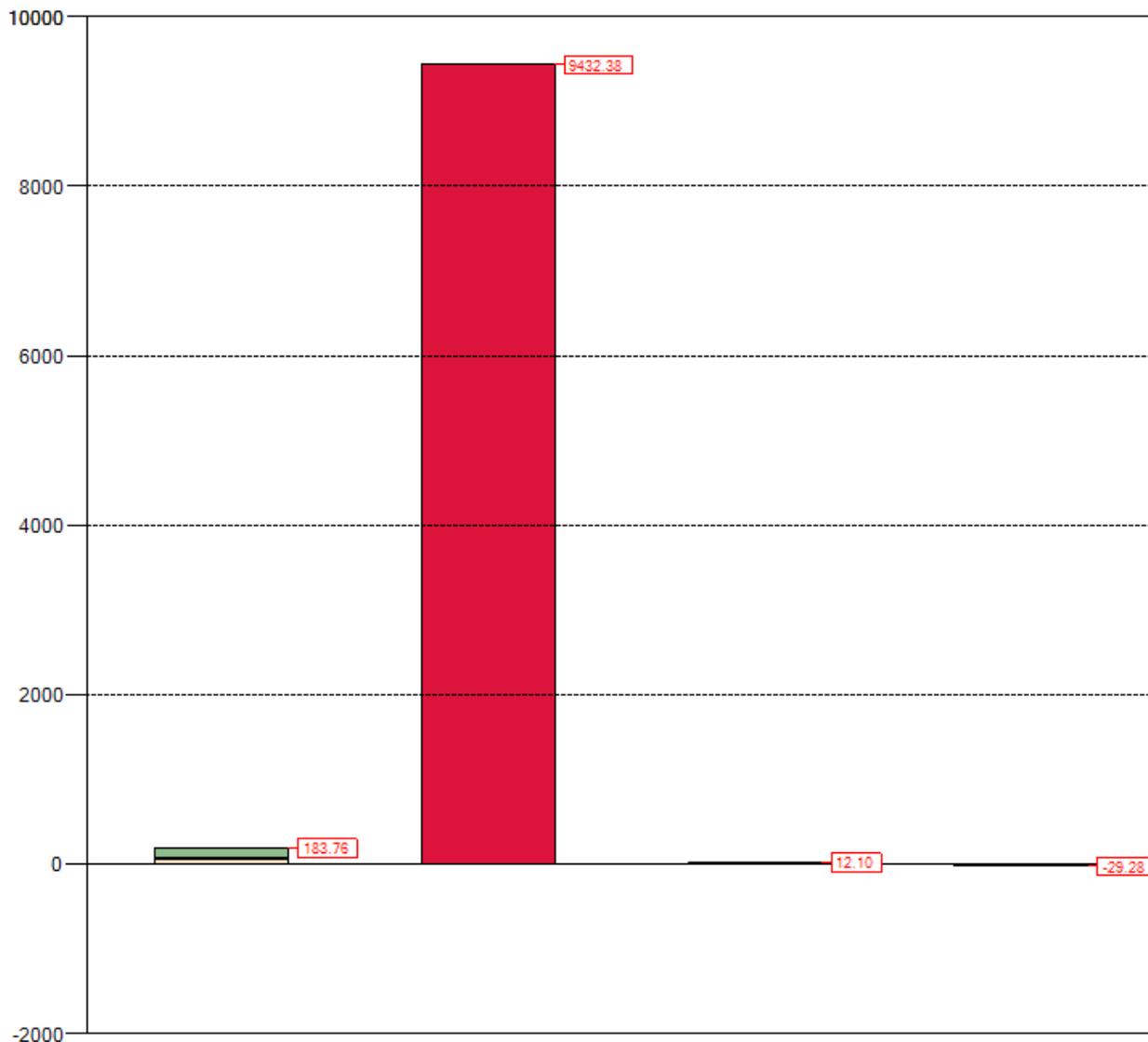
	Module A	Module B	Module C	Module D	Total A to C	Total A to D
GWP (tCO ₂ eq)	183.76	9432.38	12.10	-29.28	9628.25	9598.97
ODP (tCF ₂ eq)	1.09E-06	1.55E-06	1.42E-06	7.58E-07	4.06E-06	4.82E-06
AP (tSO ₂ eq)	5.26E-01	3.14E01	5.03E-02	-7.53E-02	3.19E01	3.19E01
EP (tPO ₄ eq)	6.40E-02	1.53E00	1.69E-02	-2.80E-03	1.61E00	1.61E00
POCP (tEtheneeq)	5.92E-02	6.80E00	8.53E-03	-1.51E-02	6.87E00	6.86E00
ADP-e (tSbeq)	1.75E-03	2.30E-03	8.20E-06	-2.54E-04	4.07E-03	3.81E-03
ADP-ff (GJ NCV)	2041.70	978869.63	138.42	-285.35	981049.75	980764.40
RPE (GJ NCV)	1285.91	4687.50	6.33	-264.44	5979.75	5715.31
RER (GJ NCV)	47.75	0.00	0.00	13.72	47.75	61.47
RPE-total (GJ NCV)	68.65	4687.50	2.91	-0.65	4759.06	4758.41
Non-RPE (GJ NCV)	887.83	98391.18	148.73	-22.75	99427.74	99404.99
Non-RER (GJ NCV)	2.43	880547.69	0.00	0.00	880550.12	880550.12
Non-RPE-total (GJ NCV)	890.26	978938.87	148.73	-22.75	979977.86	979955.11
SM (t)	444.40	0.00	0.00	-0.94	444.40	443.46
RSF (GJ NCV)	14.61	6.56	0.00	0.00	21.18	21.18
Non-RSF (GJ NCV)	153.83	69.05	0.00	0.00	222.88	222.88
NFW (1000 m ³)	30396.65	6075.63	157.18	-100.49	36629.47	36528.98
HWD (t)	4.53E-03	0.00E00	0.00E00	-9.19E-05	4.53E-03	4.44E-03
Non-HWD (t)	276.33	6464.29	5.42	-4.14	6746.03	6741.89
RWD (t)	2.37E-02	4.04E00	1.65E-05	-8.53E-04	4.06E00	4.06E00
CR (t)	0.00	0.00	0.00	1.11	0.00	1.11
MR (t)	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.33
MER (t)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
EE (t)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Es wird deutlich, dass die Einflüsse von Modul B (Nutzungsphase) bei jeder Umweltwirkung überwiegen.

Die Details des Treibhauspotenzials für die einzelnen Gruppen von Gebäudeelementen inkl. Transporte werden unten dargestellt.

Wie aus der nachstehenden Abbildung hervorgeht, ist das Modul B für etwa 99% des gesamten Treibhauspotenzials (inkl. Modul A bis D) für dieses Gebäude mit einem Tragwerk aus Stahl S235 verantwortlich:

Global Warming Potential (tCO₂eq)



Module A

Module B

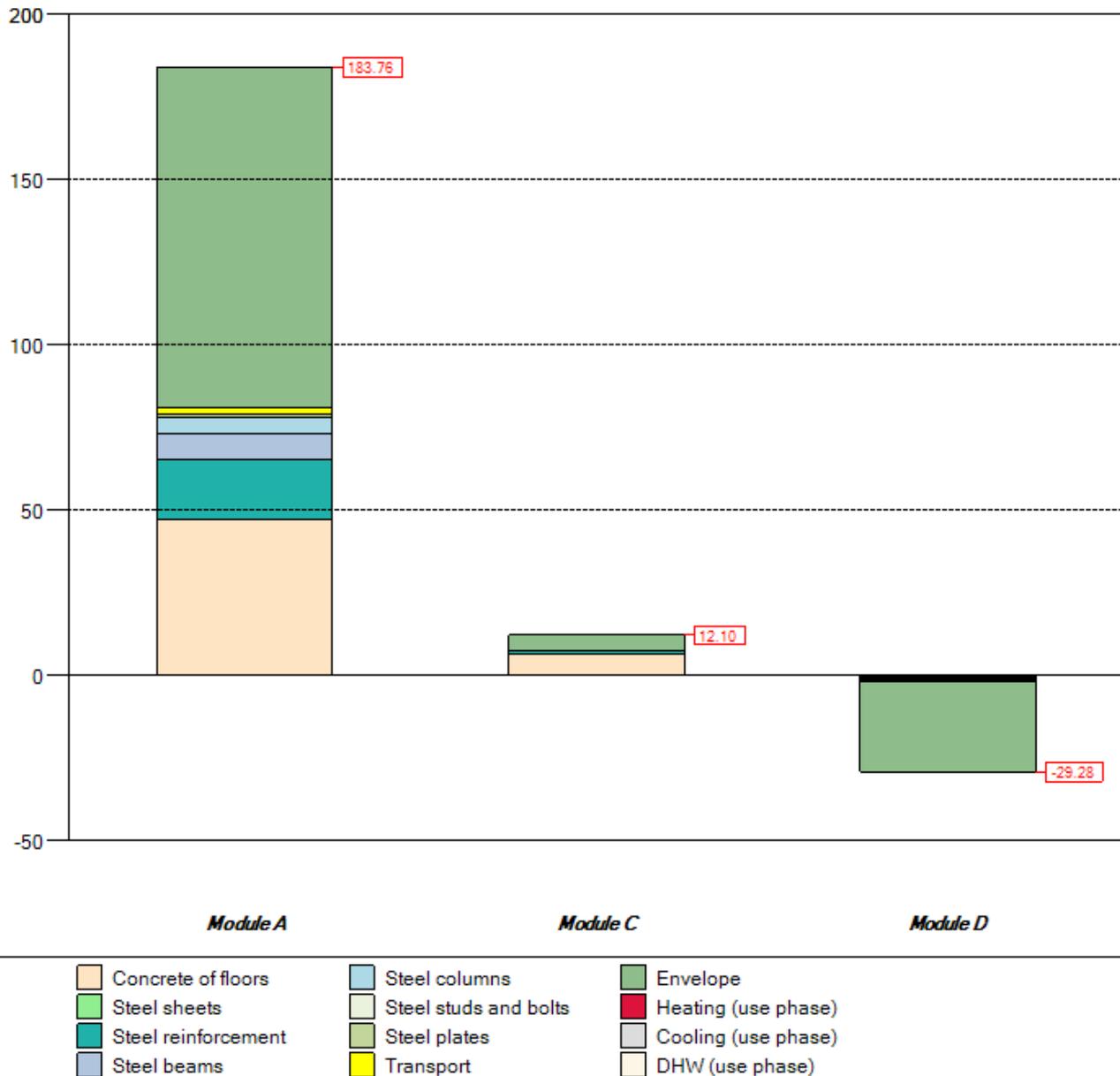
Module C

Module D

- | | | |
|---------------------|-----------------------|---------------------|
| Concrete of floors | Steel columns | Envelope |
| Steel sheets | Steel studs and bolts | Heating (use phase) |
| Steel reinforcement | Steel plates | Cooling (use phase) |
| Steel beams | Transport | DHW (use phase) |

Das durch den Einsatz der Materialien (z. B. Tragwerk, Komponenten der Gebäudehülle) entstehende Treibhauspotenzial wird in der nachfolgenden Abbildung dargestellt:

Global Warming Potential (tCO₂eq)

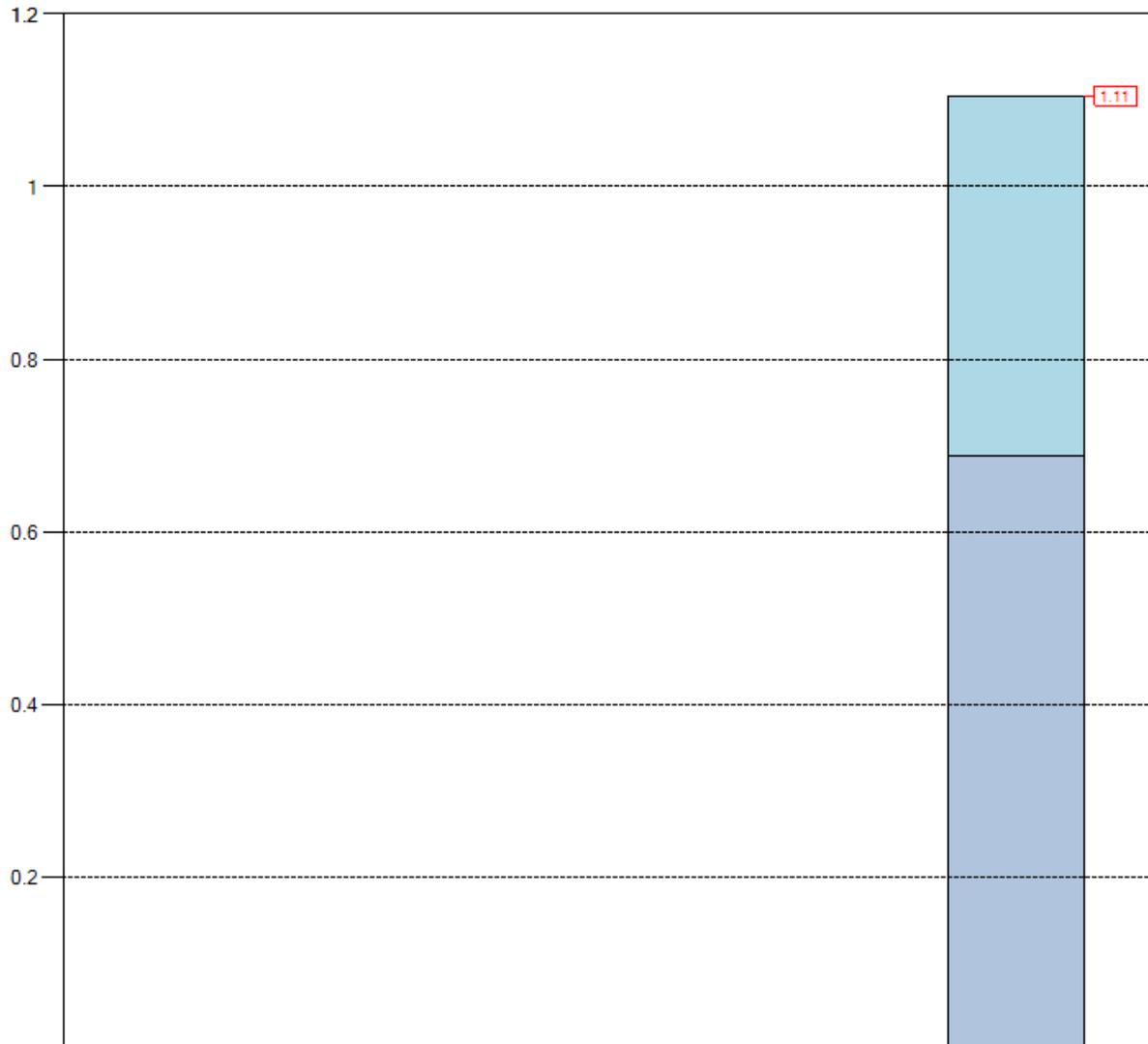


Es ist erkennbar, dass bei Modul A (Produkt- und Bauphase) 56% des gesamten Treibhauspotenzials auf die Hüllmaterialien zurückzuführen sind.

Das Treibhauspotenzial des Tragsystems beträgt 78,6 t CO₂-Äqv. und das auf die Betonplatten zurückzuführende Treibhauspotenzial entspricht 47,31 t CO₂-Äqv., also 60% der gesamten Auswirkungen des Tragsystems.

Modul D hebt die Vorteile des Lebensendes der Bauteile hervor, die entweder wiederverwendet oder recycelt werden können. Die nachstehenden Abbildungen verdeutlichen dies.

Components for reuse (t)



Module A

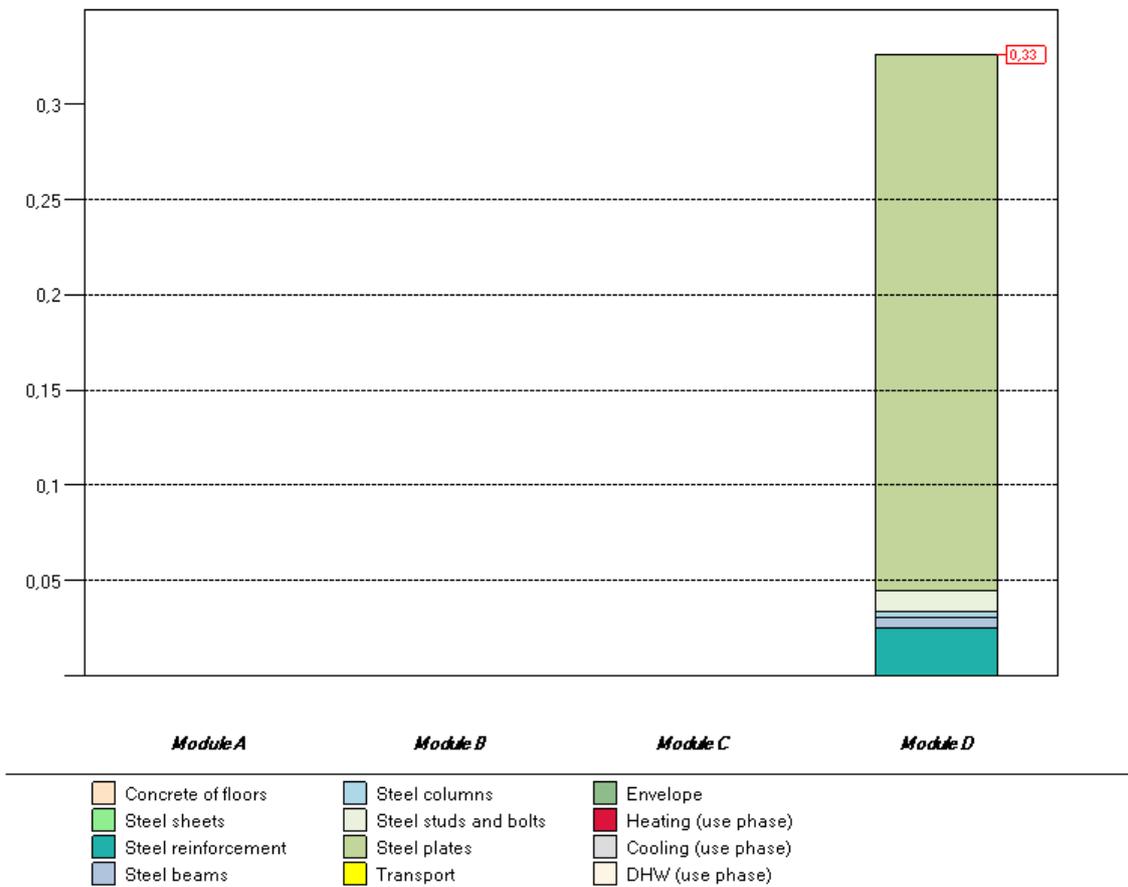
Module B

Module C

Module D

- | | | |
|---------------------|-----------------------|---------------------|
| Concrete of floors | Steel columns | Envelope |
| Steel sheets | Steel studs and bolts | Heating (use phase) |
| Steel reinforcement | Steel plates | Cooling (use phase) |
| Steel beams | Transport | DHW (use phase) |

Materials for recycling (t)



Der in den nachstehenden Tabellen dargestellte Heizenergieverbrauch beträgt 19 kWh pro m² und Jahr.

Use phase heating

Energy for space heating					
Heat transfer by transmission					
Walls	Glazing	Ext Floor	Roof	Ground	Total
kWh/year	kWh/year	kWh/year	kWh/year	kWh/year	kWh/year
11050.9	28739.9	0.0	17389.8	11212.7	66993.5
Heat Transfer by ventilation			Heat gains		
Ventilation			Glazed	Opaque	Internal
kWh/year			kWh/year	kWh/year	kWh/year
52169.4			42631.5	1661.1	64941.9

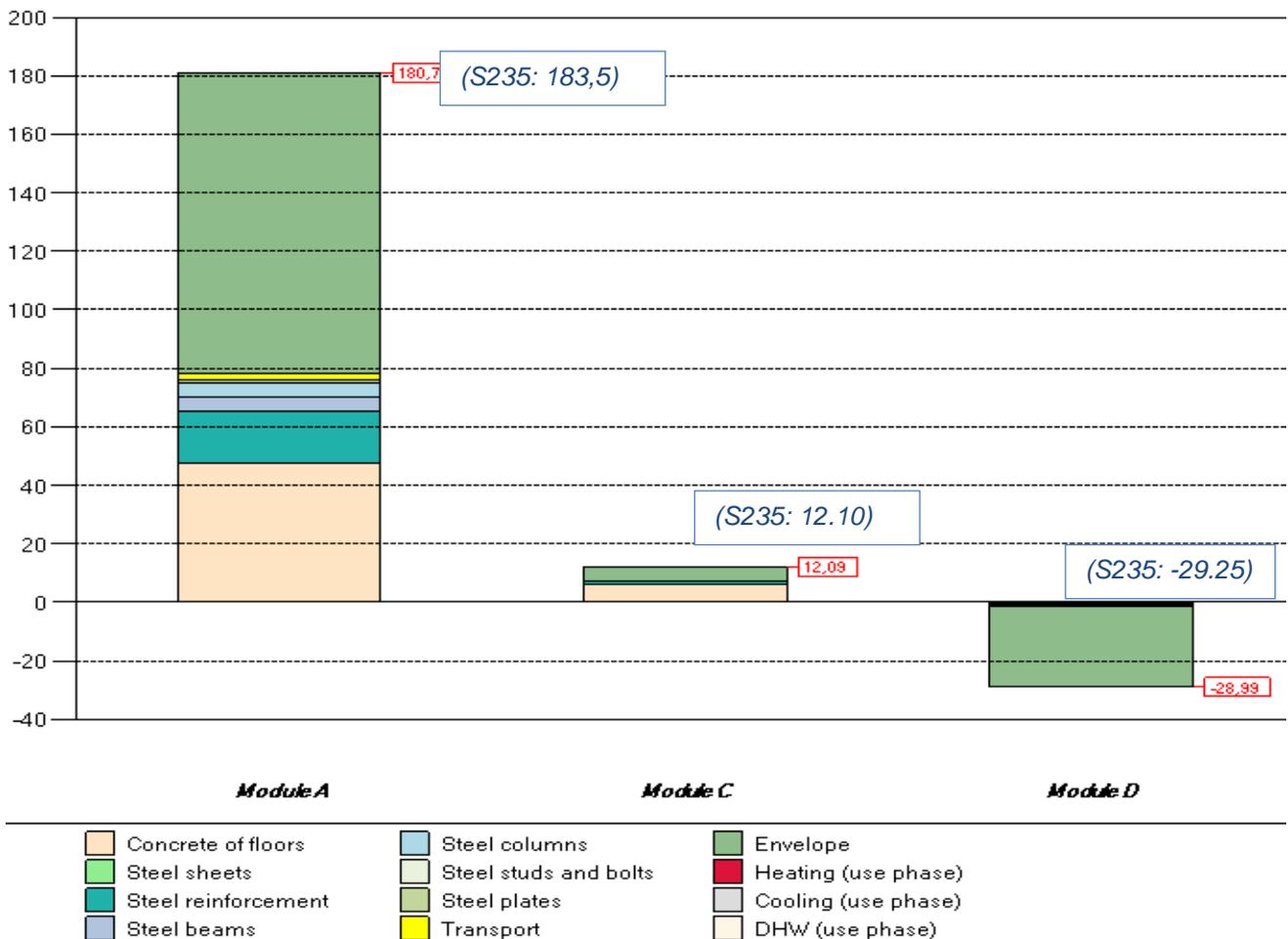
Energy need for heating												
Qh,nd	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
kWh	3642.1	3040.8	2279.5	1099.0	8.5	0.0	0.0	0.0	0.0	755.8	2582.3	3540.6
kWh/m ²	4.0	3.4	2.5	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	2.9	3.9

Energy Breakdowns		
Building totals for heating		
Energy need	16948.6	kWh/year
	18.8	kWh/m ² /year
Delivered energy	19481.1	kWh/year
COP : 0.87	21.6	kWh/m ² /year
Primary	1675.4	kgoe/year
fconv : 0.086	1.9	kgoe/m ² /year

7.3.8.2 Stahltragwerk S460

Die Erhöhung der Stahlgüte erlaubt die Reduzierung des Gesamtgewichtes der Stahlkonstruktion von 6,66 t (S235) auf 4,33 t, was eine Gesamtreduzierung um 2,33 t Stahl für die tragenden Bauteile bedeutet. Dies erlaubt eine Reduzierung des GWP in den Modulen A, C und D.

Global Warming Potential (tCO₂eq)



Das Treibhauspotenzial des Stahltragwerks mit der erhöhten Stahlgüte liegt bei 10,69 t CO₂-Äquivalenten. Dies bedeutet eine Netto-Reduzierung um 2,69 t CO₂-Äquivalente im Vergleich zu dem Tragwerk aus S235.

Der GWP-Einfluss der Gebäudehülle liegt bei 57% der gesamten Einflüsse von Modul A, was dem Anteil für das Gebäude S235 entspricht.

7.3.8.3 Betontragwerk

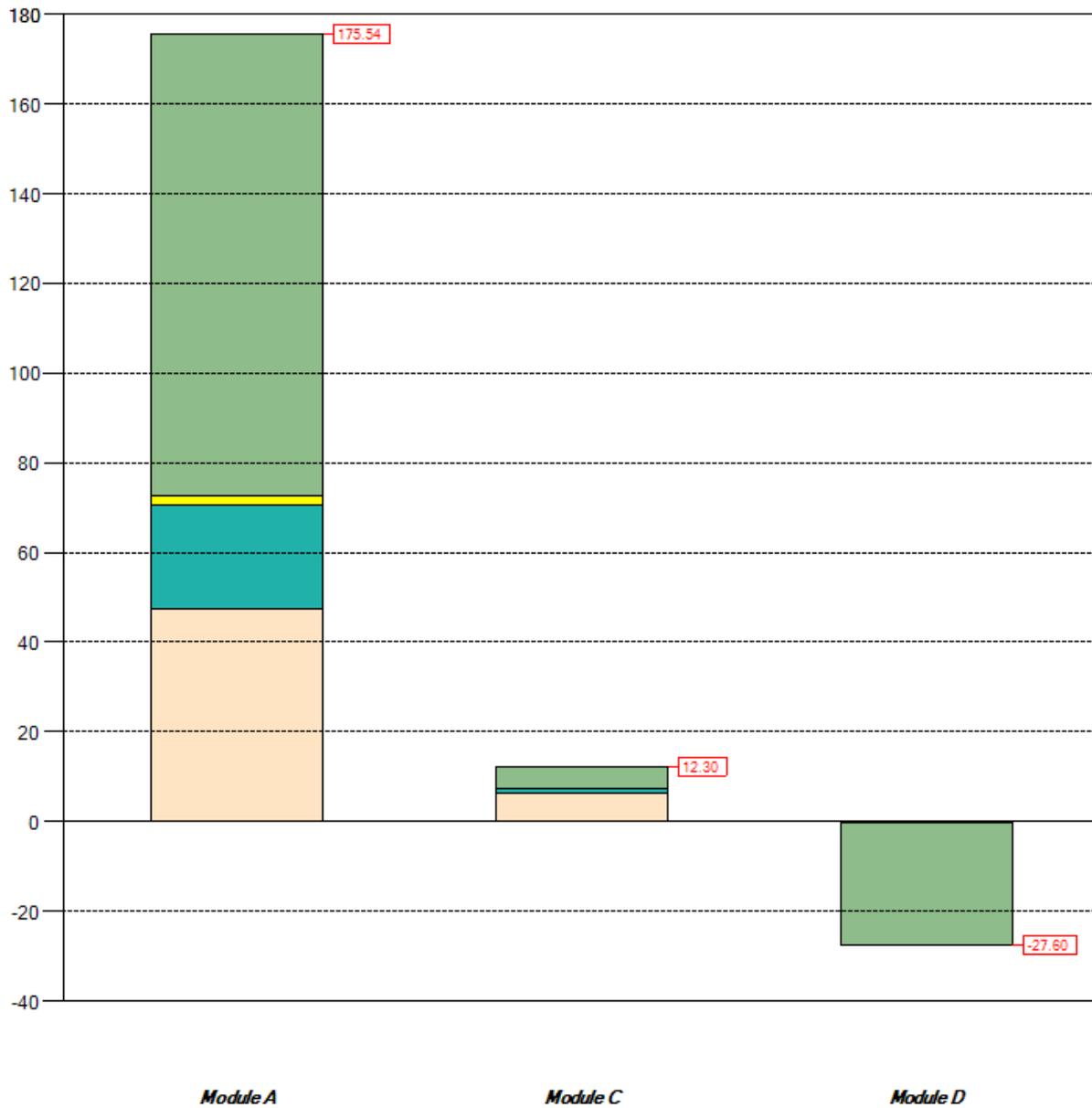
Die nachstehende Tabelle beinhaltet die Summen aller Umweltwirkungen des Betongebäudes:

Industrial hall		GWP (tCO ₂ eq)
Module A	Concrete of floors	47.31
	Steel sheets	0.00
	Steel reinforcement	23.26
	Steel beams	0.00
	Steel columns	0.00
	Steel studs and bolts	0.00
	Plate Connections	0.00
	Transport	2.21
	Envelope	102.75
	Module A	182.70
Module B	Energy need for space heating	9432.38
	Energy need for space cooling	0.00
	Energy need for DHW production	0.00
Module B	9432.38	
Module C	Concrete of floors	6.29
	Steel sheets	0.00
	Steel reinforcement	1.18
	Steel beams	0.00
	Steel columns	0.00
	Steel studs and bolts	0.00
	Plate Connections	0.00
	Transport	0.00
	Envelope	4.83
	Module C	13.07
Module D	Concrete of floors	-0.12
	Steel sheets	0.00
	Steel reinforcement	-0.05
	Steel beams	0.00
	Steel columns	0.00
	Steel studs and bolts	0.00
	Plate Connections	0.00
	Transport	0.00
	Envelope	-27.43
Module D	-27.69	
Total A to C	Total A to C	9628.16
Total A to D	Total A to D	9600.47

Es wird deutlich, dass auch hier die Einflüsse aus der Nutzungsphase dominieren und denen der Stahlgebäude entsprechen.

Das Treibhauspotenzial je Bauteilgruppe und Modul wird unten detailliert dargestellt.

Global Warming Potential (tCO₂eq)



Modul A weist ein Treibhauspotenzial von 182,7 t CO₂-Äquivalenten auf. Die auf das Tragwerk zurückzuführenden Einflüsse betragen 79,95 t CO₂-Äqv., wovon 29% durch die Bewehrung verursacht werden.

Die Betonplatte steuert 26% des Treibhauspotenzials für Modul A bei.

Die nachstehende Abbildung zeigt das Treibhauspotenzial für Modul D und verdeutlicht die Vorteile des Recyclings der Bauteile für die Gebäudehülle aus vorwiegend leichten Stahlrahmen bei den Fassadenkomponenten und Stahlblech im Dach.

Global Warming Potential (tCO2eq)

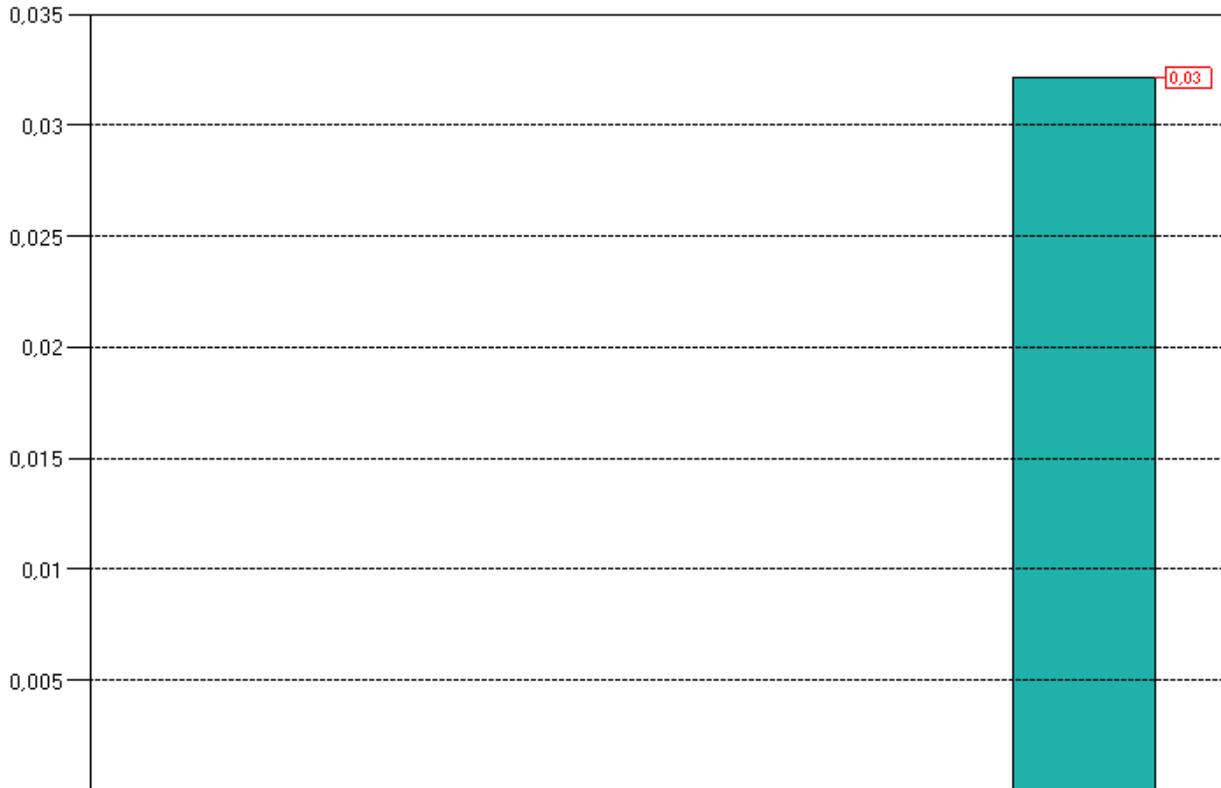


Module D

- | | | |
|---|---|---|
| Concrete of floors | Steel columns | Envelope |
| Steel sheets | Steel studs and bolts | Heating (use phase) |
| Steel reinforcement | Steel plates | Cooling (use phase) |
| Steel beams | Transport | DHW (use phase) |

Die recyclingfähigen Materialien stellen 0,03 t dar, was weniger ist als für das Gebäude aus Stahl S235 (0,33 t).

Materials for recycling (t)



Module A

Module B

Module C

Module D

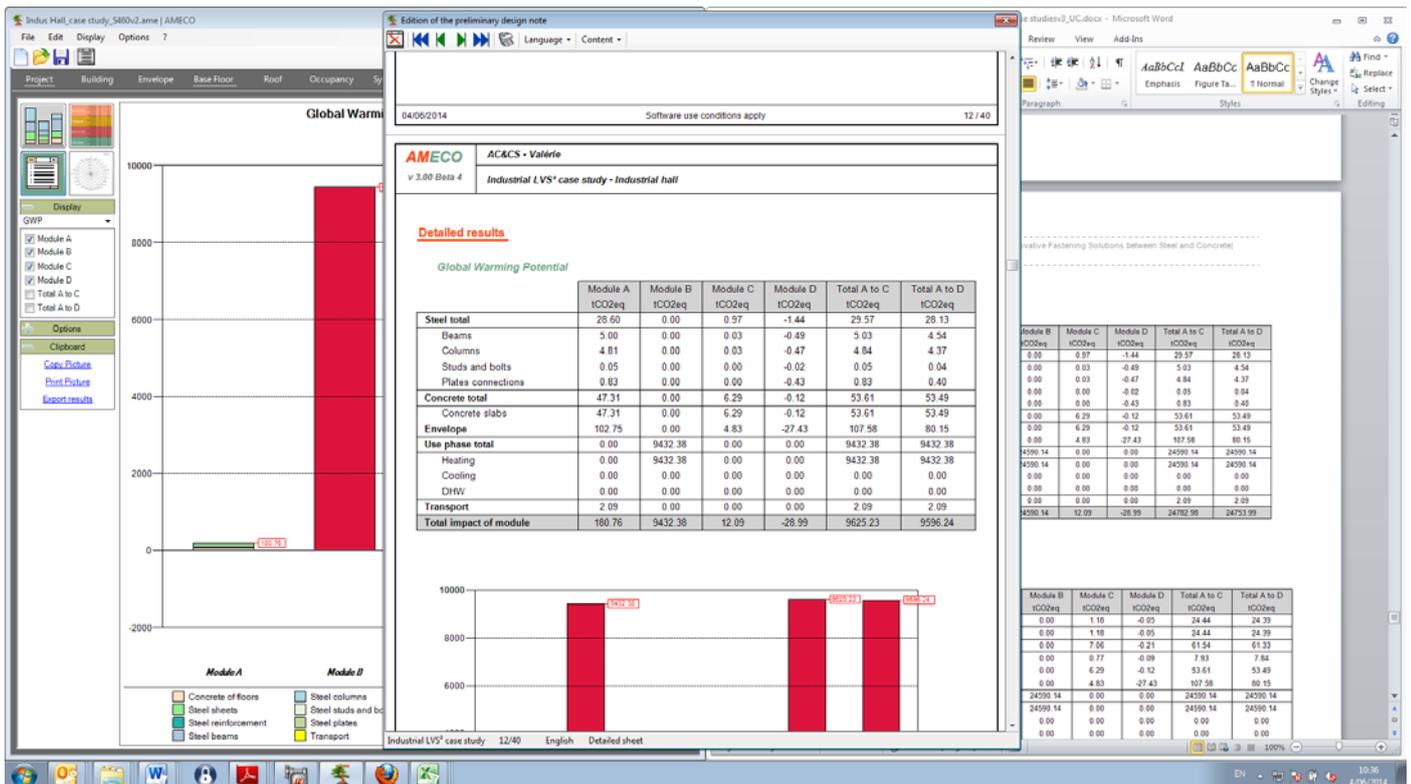
- | | | | |
|-----------------------|-----------------------|--------------|---------------------|
| Concrete of floors | Steel beams | Wood beams | Heating (use phase) |
| Steel sheets | Steel columns | Wood columns | Cooling (use phase) |
| Concrete of structure | Steel studs and bolts | Transport | DHW (use phase) |
| Steel reinforcement | Steel plates | Envelope | |

7.3.8.4 Vergleich der GWP-Wirkungen der drei Tragsysteme

Die nachstehende Abbildung zeigt den Vergleich der gesamten GWP-Wirkungen des Tragsystems aus Stahl S460 und Beton in den Modulen A, C und D.

Die Details der Tragsysteme werden nachfolgend dargestellt:

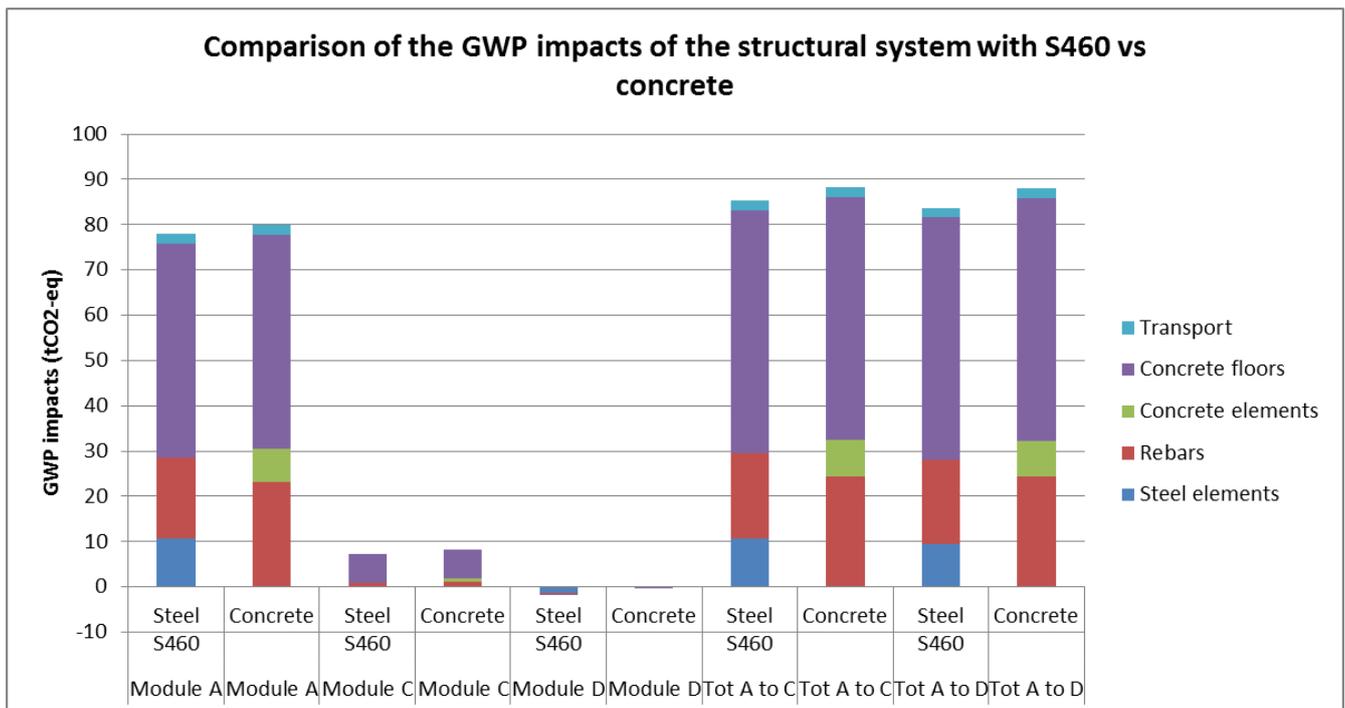
V2: S460



V3: Beton

Global Warming Potential

	Module A tCO2eq	Module B tCO2eq	Module C tCO2eq	Module D tCO2eq	Total A to C tCO2eq	Total A to D tCO2eq
Steel total	23.26	0.00	1.18	-0.05	24.44	24.39
Reinforcement	23.26	0.00	1.18	-0.05	24.44	24.39
Concrete total	54.48	0.00	7.06	-0.21	61.54	61.33
Concrete of structure	7.16	0.00	0.77	-0.09	7.93	7.84
Concrete slabs	47.31	0.00	6.29	-0.12	53.61	53.49
Envelope	102.75	0.00	4.83	-27.43	107.58	80.15
Use phase total	0.00	24590.14	0.00	0.00	24590.14	24590.14
Heating	0.00	24590.14	0.00	0.00	24590.14	24590.14
Cooling	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DHW	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Transport	2.21	0.00	0.00	0.00	2.21	2.21
Total impact of module	182.70	24590.14	13.07	-27.69	24785.91	24758.22



7.3.9 Analyse der Umweltvorteile durch Erhöhung der Dämmschichtdicke

Wie im vorherigen Kapitel beschrieben, ist die Nutzungsphase für mehr als 99% des über den gesamten Lebensweg der Gebäude entstehenden Treibhauspotenzials verantwortlich.

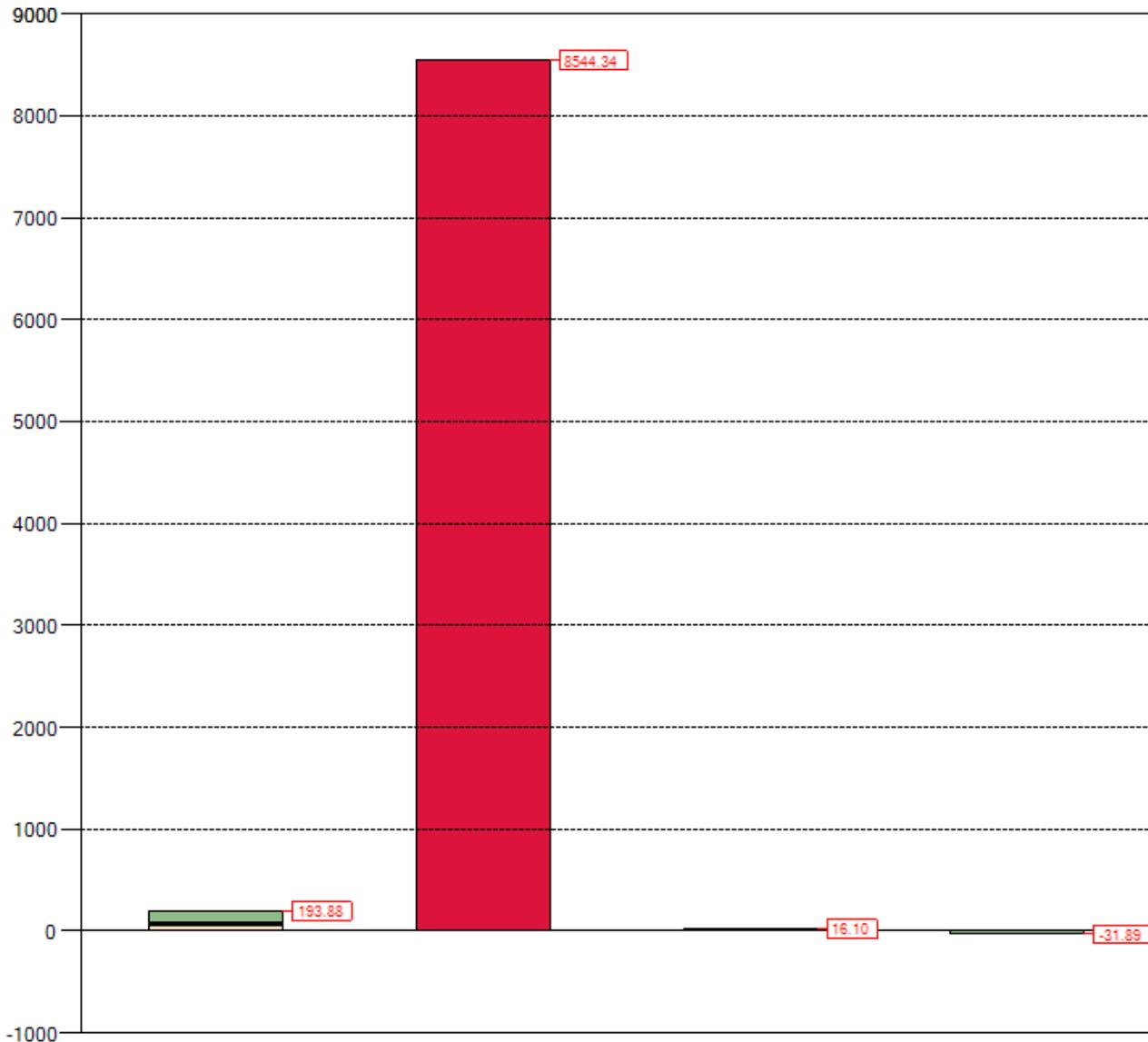
Eine gängige Lösung, um den Energiebedarf und damit die Umweltwirkungen des Gebäudes deutlich zu reduzieren, ist die Verbesserung der Energieeffizienz der Gebäudehülle durch Erhöhung der Dämmschichtdicke.

Mit AMECO ist es leicht, den Einfluss derartiger Änderungen zu analysieren.

Die Dicke der Dämmschicht der Fassadenelemente (in diesem Fall Sandwichelemente) wurde von 80 auf 200 mm erhöht.

Das Treibhauspotenzial der Nutzungsphase wurde reduziert und insgesamt waren Netto-Einsparungen (Einsparungen während der Nutzungsphase abzüglich des zusätzlichen Treibhauspotenzials für die dickere Dämmung) von 888 t CO₂-Äquivalenten möglich:

Global Warming Potential (tCO₂eq)



Module A

Module B

Module C

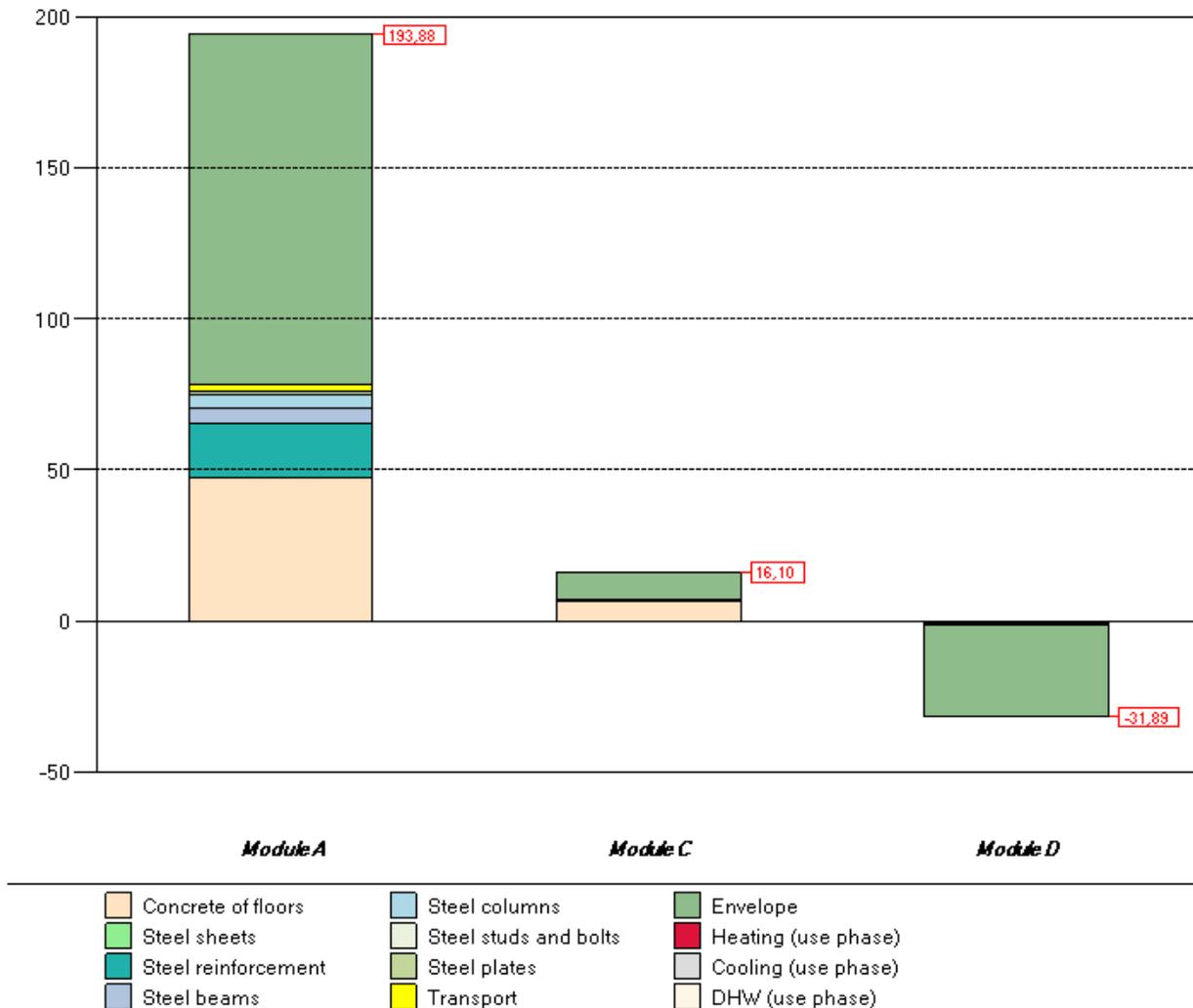
Module D

- | | | |
|---------------------|-----------------------|---------------------|
| Concrete of floors | Steel columns | Envelope |
| Steel sheets | Steel studs and bolts | Heating (use phase) |
| Steel reinforcement | Steel plates | Cooling (use phase) |
| Steel beams | Transport | DHW (use phase) |

Industrial hall		GWP (tCO ₂ eq)
Module A	Concrete of floors	47.31
	Steel sheets	0.00
	Steel reinforcement	17.91
	Steel beams	5.00
	Steel columns	4.81
	Steel studs and bolts	0.05
	Plate Connections	0.83
	Transport	2.09
	Envelope	115.87
	Module A	193.88
Module B	Energy need for space heating	8544.34
	Energy need for space cooling	0.00
	Energy need for DHW production	0.00
Module B	8544.34	
Module C	Concrete of floors	6.29
	Steel sheets	0.00
	Steel reinforcement	0.91
	Steel beams	0.03
	Steel columns	0.03
	Steel studs and bolts	0.00
	Plate Connections	0.00
	Transport	0.00
	Envelope	8.85
	Module C	16.10
Module D	Concrete of floors	-0.12
	Steel sheets	0.00
	Steel reinforcement	-0.04
	Steel beams	-0.49
	Steel columns	-0.47
	Steel studs and bolts	-0.02
	Plate Connections	-0.43
	Transport	0.00
	Envelope	-30.33
	Module D	-31.89
Total A to C	Total A to C	8754.33
Total A to D	Total A to D	8722.44

Die zusätzliche Dämmung erhöht das Treibhauspotenzial für Modul A auf 193,88 t CO₂-Äqv., was einem Zuwachs von 13,12 t CO₂-Äqv. entspricht.

Global Warming Potential (tCO₂eq)

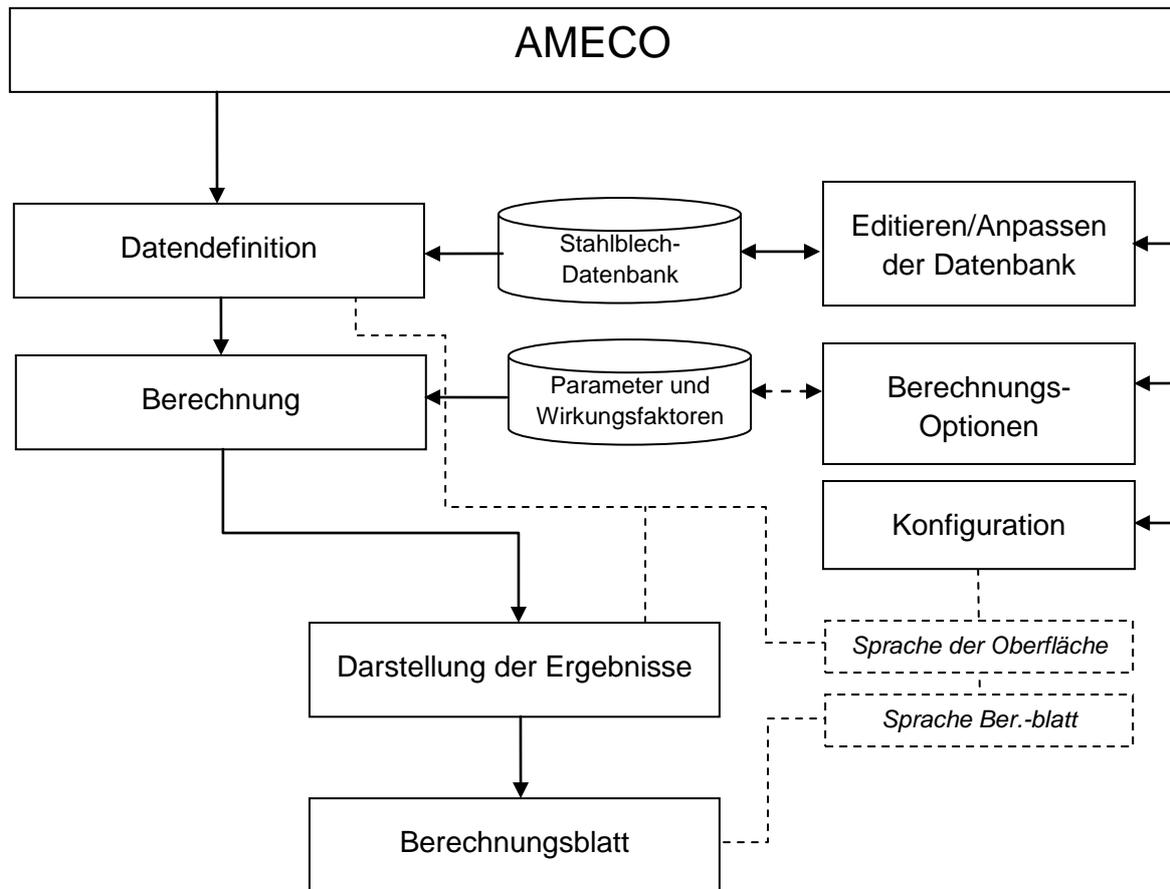


Im Vergleich zur Reduzierung des Energiebedarfs ist dies vernachlässigbar. Dies hebt das Interesse an der Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden hervor.

8 Literatur

- [1] P-O. MARTIN, AMECO SOFTWARE Technical Manual, report DRV/10-DRC-107/002-A, CTICM, 2010.
- [2] C. THAUVOYE, AMECO 2 SOFTWARE Technical and Software Specifications, report DRV/12-DRV-123/001-A, CTICM, 2012.
- [3] P. SANTOS, Excel-Tabellenkalkulation, Universität von Coimbra, 2013
- [4] BIO Intelligence Service, Evaluation de la Qualité Environnementale de Bâtiments Tertiaires – Aspects environnementaux, ArcelorMittal, Juli 2013

Anhang 1. Allgemeiner Aufbau von AMECO



Anhang 2. Nicht klimabezogene Tabellen

	JAN	FEB	MÄR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
<i>m</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
MonthLength	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	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
NbDayWorking	23	20	21	22	23	20	23	22	21	23	21	22

Tabelle 11: Länge (MonthLength) [10^6 s], Monatstage (MonthDay) [Tage] und Anzahl Arbeitstage (NbDayWorking) [Tage] im Monat *m*

Gebäudeart	Fläche 1		Fläche 2	
	Beschreibung	Standard %	Beschreibung	Standard %
RB	Wohnfläche	40	Andere	60
OB	Bürofläche	80	Andere	20
CB	Verkaufsfläche	60	Andere	40
IB	Hallenfläche	80	Andere	20

Tabelle 12: Definitionen der Flächen (RB = Wohngebäude (Residential Building); OB = Bürogebäude (Office Building); CB = Handelsgebäude (Commercial Building); IB = Industriehalle (Industrial Building))

Abschlusstyp	R_{sh} [m ² .K/W]	Luftdurchlässigkeit		
		Δr_{high}	Δr_{avg}	Δr_{low}
		[m ² .K/W]		
Kein Abschluss	0,00	0,00	0,00	0,00
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 Rolllade	0,01	0,09	0,00	0,00
Externe lichtdurchlässige Rolllade	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	0,13	0,19	0,26
Abschlüsse aus Holz, 25 mm bis 30 mm Dicke	0,20	0,14	0,22	0,30

Tabelle 13: R_{sh} , ΔR_{high} , ΔR_{avg} , ΔR_{low} zusätzlicher thermischer Widerstand von Abschlüssen bei spezifischer Luftdurchlässigkeit

	$\Delta\theta_{er}$
SUB-POLAR	9
GEMÄSSIGT	11
TROPISCH	13

Tabelle 14: Durchschnittliche Differenz Außenlufttemperatur/Temperatur des Himmels (ISO 13790)

Fenstertyp	gn	U-Wert
Doppelverglasung	0,78	2,9
Doppelverglasung niedriges Emissionsvermögen (Typ 1)	0,72	1,7
Doppelverglasung niedriges Emissionsvermögen (Typ 2)	0,67	1,4
Doppelverglasung niedriges Emissionsvermögen (Typ 3)	0,65	1,2

Tabelle 15: gn - solarer Gesamtenergiedurchlassgrad bei senkrechtem Strahlungseinfall auf die Verglasung und U-Werte (Quelle: EN 15193)

Makro-Komponente Wand	U-Wert	km
B2010.20.1a(Steinwolle)	0,296	13391
B2010.20.1b(EPS)	0,296	13391
B2010.20.1c(XPS)	0,296	13391
B2010.20.1d(PUR)	0,296	13391
B2010.20.1e(Kork)	0,296	13391
B2010.20.2a(Steinwolle)	0,305	62047
B2010.20.2b(EPS)	0,305	62047
B2010.20.2c(XPS)	0,305	62047
B2010.20.2d(PUR)	0,305	62047
B2010.20.2e(Kork)	0,305	62047
B2010.20.2f(Glaswolle)	0,305	62047

Tabelle 16: Wandart

Effizienz Heizsystem	
Elektrische Widerstandsheizung	1
Gasheizofen	0,87
Flüssigbrennstoffheizung	0,8
Festbrennstoffheizung	0,6
Split (Heizung)	4

Tabelle 17: Effizienz Heizsystem

Effizienz Kühlsystem	
Split (Kühlung)	3
Kältemaschine (Kompressionszyklus)	3
Kältemaschine (Absorptionszyklus)	0,8
keine Kühlung	0,0

Tabelle 18: Effizienz Kühlsystem

Effizienz Warmwassersystem	
Elektroboiler	0,9
Gasboiler	0,6
freistehender Warmwasserbereiter (Kondensation)	0,72
freistehender Warmwasserbereiter	0,4
kein Warmwasser	0,0

Tabelle 19: Effizienz Warmwassersystem

Energieart	
Strom	0,29
Gas	0,086
Flüssigbrennstoff	0,086
Festbrennstoff	0,086
Biomasse	0

Tabelle 20: Umrechnungsfaktoren in Primärenergie in Abhängigkeit der Art der Endenergie

Verschattungseinrichtung Typ	Farbe Verschattungseinrichtung		
	hell	mittel	dunkel
Keine Verschattungseinrichtung	1,00	1,00	1,00
Externer opaker Holzabschluss (keine Dämmung)	0,03	0,05	0,06
Externe Holz-Rollläden (keine Dämmung)	0,04	0,05	0,07
Externe Aluminium-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

Tabelle 21: solare Wärmedurchlässigkeit für Fenster mit Verschattungseinrichtung

	λ	ρc
Ton oder Schluff	1,5	3000000,00
Sand oder Kies	2	2000000,00
homogenes Gestein	3,5	2000000,00
Standard	2	2000000,00
benutzerdefiniert	1,5	1700000,00

Tabelle 22: Bodenleitfähigkeit und Erdwärmekapazität (ISO)

Gebäudeart	Nacht Heizung	Tag Kühlung
RB	<i>Ja</i>	<i>Ja</i>
OB	<i>Nein</i>	<i>Ja</i>
CB	<i>Nein</i>	<i>Nein</i>
IB	<i>Nein</i>	<i>Nein</i>

Tabelle 23: Standardwerte für "Nacht Heizung" und "Tag Kühlung"

Dach Makro-Komponente	U-Wert
Makro Dach 1	1,0
Makro Dach 2	2,0

Tabelle 24: Makro-Komponente für das Dach

	Heizmodus						Kühlmodus					
Verschattungseinrichtung AN												
Region	a _{H0}	τ _{H0}	k _{D,cor,H}	K _{cor,ve}	K _{cor,H}	K _{cor,int,H}	a _{C0}	T _{C0}	k _{D,cor,C}	K _{cor,ve,C}	K _{cor,C}	K _{cor,int,C}
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
Verschattungseinrichtung AUS												
Region	a _{H0}	τ _{H0}	k _{D,cor,H}	K _{cor,ve}	K _{cor,H}	K _{cor,int,H}	a _{C0}	T _{C0}	k _{D,cor,C}	K _{cor,ve,C}	K _{cor,C}	K _{cor,int,C}
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

Tabelle 25: Korrekturfaktoren für jede Klimazone

			WOHNGEBÄUDE					
			Fläche 1 (Wohnzimmer und Küche)			Fläche 2 (andere gekühlte Flächen)		
			von	bis	Gewinn (W/m ²)	von	bis	Gewinn (W/m ²)
Belegung	Montag bis Freitag	Periode 1	07:00	17:00	08:0	07:00	17:00	1,0
		Periode 2	17:00	23:00	20:0	17:00	23:00	1,0
		Periode 3	23:00	07:00	02:0	23:00	07:00	6,0
	Samstag und Sonntag	Periode 1	07:00	17:00	08:0	07:00	17:00	2,0
		Periode 2	17:00	23:00	20:0	17:00	23:00	4,0
		Periode 3	23:00	07:00	02:0	23:00	07:00	6,0
Beleuchtung	Montag bis Freitag	Periode 1	0	0	0	0	0	0
		Periode 2	0	0	0	0	0	0
		Periode 3	0	0	0	0	0	0
	Samstag und Sonntag	Periode 1	0	0	0	0	0	0
		Periode 2	0	0	0	0	0	0
		Periode 3	0	0	0	0	0	0

Tabelle 26: Standardwerte Belegungs- und Beleuchtungsszenarien für Wohngebäude

			Bürogebäude					
			Fläche 1: Büroflächen			Fläche 2: andere Räume, Lobby, Flure		
			von	bis	Gewinn (W/m ²)	von	bis	Gewinn (W/m ²)
Belegung	Montag bis Freitag	Periode 1	07:00	17:00	20:0	07:00	17:00	8,0
		Periode 2	17:00	23:00	2:0	17:00	23:00	1,0
		Periode 3	23:00	07:00	2:0	23:00	07:00	1,0
	Samstag und Sonntag	Periode 1	07:00	17:00	2:0	07:00	17:00	1,0
		Periode 2	17:00	23:00	2:0	17:00	23:00	1,0
		Periode 3	23:00	07:00	2:0	23:00	07:00	1,0
Licht	Montag bis Freitag	Periode 1	0	0	0	0	0	0
		Periode 2	0	0	0	0	0	0
		Periode 3	0	0	0	0	0	0
	Samstag und Sonntag	Periode 1	0	0	0	0	0	0
		Periode 2	0	0	0	0	0	0
		Periode 3	0	0	0	0	0	0

Tabelle 27: Standardwerte Belegungs- und Beleuchtungsszenarien für Bürogebäude

			Handelsgebäude					
			Fläche 1			Fläche 2		
			von	bis	Gewinn (W/m ²)	von	bis	Gewinn (W/m ²)
Belegung	Montag bis Freitag	Periode 1	05:00	17:00	8	05:00	17:00	1
		Periode 2	17:00	23:00	20	17:00	23:00	1
		Periode 3	23:00	07:00	2	23:00	07:00	6
	Samstag und Sonntag	Periode 1	05:00	17:00	8	05:00	17:00	2
		Periode 2	17:00	23:00	20	17:00	23:00	4
		Periode 3	23:00	07:00	2	23:00	07:00	6
Licht	Montag bis Freitag	Periode 1	06:00	09:00	0	06:00	09:00	0
		Periode 2	17:00	23:00	6	17:00	23:00	6
		Periode 3	23:00	08:00	0	23:00	08:00	0
	Samstag und Sonntag	Periode 1	06:00	09:00	0	06:00	09:00	0
		Periode 2	17:00	23:00	6	17:00	23:00	6
		Periode 3	23:00	08:00	0	23:00	08:00	0

Tabelle 28: Standardwerte Belegungs- und Beleuchtungsszenarien für Handelsgebäude

			Industriegebäude					
			Fläche 1			Fläche 2		
			von	bis	Gewinn (W/m ²)	bis	von	Gewinn (W/m ²)
Belegung	Montag bis Freitag	Periode 1	07:00	17:00	8	07:00	17:00	1
		Periode 2	17:00	23:00	20	17:00	23:00	1
		Periode 3	23:00	07:00	2	23:00	07:00	6
	Samstag und Sonntag	Periode 1	07:00	17:00	8	07:00	17:00	2
		Periode 2	17:00	23:00	20	17:00	23:00	4
		Periode 3	23:00	07:00	2	23:00	07:00	6
Licht	Montag bis Freitag	Periode 1	08:00	09:00	0	08:00	09:00	0
		Periode 2	17:00	23:00	6	17:00	23:00	6
		Periode 3	23:00	08:00	0	23:00	08:00	0
	Samstag und Sonntag	Periode 1	08:00	09:00	0	08:00	09:00	0
		Periode 2	17:00	23:00	6	17:00	23:00	6
		Periode 3	23:00	08:00	0	23:00	08:00	0

Tabelle 29: Standardwerte Belegungs- und Beleuchtungsszenarien für Industriegebäude

Felder	Einheit	RB	OB	CB	IB
Heiztemperatur	°C	20	20	20	18
Kühltemperatur	°C	26	26	26	26
Luftdurchsatz (Heizung) (Mindestwert zur Sicherstellung einer guten Raumluftqualität)	ac/h	0,60	0,60	0,60	0,60
Luftdurchsatz (Kühlung)	ac/h	1,00	1,00	1,00	1,00

Tabelle 30: Standardwerte Innenraumbedingungen

Felder	RB	OB	CB	IB
Startzeit	17:00	07:00	09:00	08:00
Endzeit	23:00	17:00	19:00	17:00
Anzahl Tage/Woche	7	5	6	5

Tabelle 31: Standardwerte Heizsysteme

Art Heiz-/Kühlsystem	Standardwert für „genutzte Energie“
elektrische Widerstandsheizung	Strom
Gasheizung	Gas
Flüssigbrennstoffheizung	Flüssigbrennstoff
Festbrennstoffheizung	Festbrennstoff
Split (Heizen)	Strom
Split (Kühlen)	Strom
Kompressionskältemaschine	Strom
Absorptionskältemaschine	Strom

Tabelle 32: Standardwerte für die zum Heizen/Kühlen genutzte Energie

Felder	RB	OB	CB	IB
Anzahl Tage / Woche	7	5	6	5

Tabelle 33: Standardwerte „Anzahl der Wochentage für die Kühlung“

Typ Warmwassersystem	Standardwert für „genutzte Energie“
Elektroboiler	Strom
Gasboiler	Gas
freistehender Warmwasserbereiter (Kondensation)	Gas
freistehender Warmwasserbereiter	Gas

Tabelle 34: Standardwerte genutzte Energie für die Warmwasser-Produktion

Anhang 3. Klimatabellen

Land: **Portugal**
 Breitengrad: 40
 Klima: gemäßigt
 GeigerKlima: Csb

		JAN	FEB	MÄR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
Sonnen- einstrahlung W/m ²	Nord	22,7	33,2	45,1	56,1	69,1	76,9	68,9	57,7	48,1	35,9	27,1	22,0
	Ost	55,2	67,5	96,0	122,0	125,5	132,3	132,1	122,5	103,7	75,2	49,9	43,9
	Süd	141,5	128,4	151,6	141,7	113,9	112,5	119,7	147,0	153,8	152,5	111,9	111,8
	West	56,7	66,8	96,4	121,4	126,1	146,8	148,6	144,8	110,6	87,5	48,7	43,0
	Dach	87,8	107,7	170,8	220,7	241,7	277,4	282,7	260,3	197,9	138,4	84,4	69,7
Luft-Temp. [°C]		9,6	11,0	12,7	13,1	15,6	19,0	20,8	21,1	20,6	16,9	12,2	11,2
f _{H,shut} [-]		0,585	0,542	0,484	0,438	0,386	0,375	0,375	0,406	0,471	0,508	0,583	0,590

Tabelle 35: Klimadaten für Coimbra

Land: **Finnland**
 Breitengrad: 61
 Klima: gemäßigt
 GeigerKlima: Dfc

		JAN	FEB	MÄR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
Sonnen- einstrahlung W/m ²	Nord	3	12	27	46	70	82	72	56	36	17	6	2
	Ost	4	28	48	90	126	140	131	103	59	30	8	4
	Süd	13	85	100	142	159	159	161	138	105	65	22	16
	West	5	31	54	90	129	139	139	101	59	30	8	4
	Dach	7	34	76	139	211	237	224	166	97	46	12	5
Luft-Temp. [°C]		-6,3	-6,7	-2,6	3,0	9,3	13,5	16,6	15,2	9,5	4,6	-1,0	-4,2
f _{H,shut} [-]		0,727	0,616	0,500	0,376	0,267	0,183	0,226	0,328	0,450	0,565	0,693	0,750

Tabelle 36: Klimadaten für Tampere

Land: **Rumänien**
 Breitengrad: 45
 Klima: gemäßigt
 GeigerKlima: Cfb

		JAN	FEB	MÄR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
Sonnen- einstrahlung W/m ²	Nord	19	28	43	57	72	80	74	61	47	34	22	16
	Ost	31	52	81	105	132	146	144	130	95	73	40	26
	Süd	80	112	128	129	129	128	141	152	153	155	95	69
	West	32	54	74	102	125	138	141	131	98	76	39	28
	Dach	50	84	136	182	235	266	271	234	168	121	62	43
Luft-Temp. [°C]		0,0	1,5	5,2	10,7	16,8	19,4	22,1	21,4	16,4	11,6	5,7	1,4
f _{H,shut} [-]		0,622	0,546	0,488	0,428	0,366	0,333	0,363	0,388	0,468	0,527	0,583	0,625

Tabelle 37: Klimadaten für Timisoara (Temeschwar)

Monat	$f_{sh-with}$			
	NORD [-]	OST [-]	SÜD [-]	WEST [-]
JAN	0,00	0,00	0,00	0,00
FEB	0,00	0,00	0,01	0,00
MÄR	0,00	0,00	0,05	0,03
APR	0,00	0,00	0,09	0,07
MAI	0,00	0,01	0,11	0,10
JUN	0,00	0,02	0,09	0,11
JUL	0,00	0,02	0,10	0,11
AUG	0,00	0,00	0,09	0,09
SEP	0,00	0,00	0,08	0,05
OKT	0,00	0,00	0,02	0,00
NOV	0,00	0,00	0,00	0,00
DEZ	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabelle 38: f_{shwith} , gewichteter Anteil der Zeit, während der die Sonnenschutzeinrichtung in Gebrauch ist (die gleichen Werte für Coimbra, Tampere und Timisoara)

Anhang 4. Einflussparameter für Makro-Komponenten

Die 24 Umweltwirkungen werden nochmals in Tabelle 39 angegeben.

Index	Abkürzung	Bezeichnung
1	GWP	Treibhauspotenzial
2	ODP	Ozonabbaupotenzial
3	AP	Versauerungspotenzial
4	EP	Eutrophierungspotenzial
5	POCP	Photochemisches Ozonbildungspotenzial
6	ADP-e	Abiotischer Ressourcenverbrauch – Elemente
7	ADP-ff	Abiotischer Ressourcenverbrauch – fossile Brennstoffe
8	RPE	erneuerbare Primärenergie als Energieträger
9	RER	erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung
10	RPE-total	Gesamtsumme erneuerbare Primärenergie (Summe aus erneuerbarer Primärenergie als Energieträger und zur stofflichen Nutzung)
11	Non-RPE	nicht erneuerbare Primärenergie als Energieträger
12	Non-RER	nicht erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung
13	Non-RPE-total	Gesamtsumme nicht erneuerbare Primärenergie (Summe aus nicht erneuerbarer Primärenergie als Energieträger und zur stofflichen Nutzung)
14	SM	Einsatz von Sekundärstoffen
15	RSF	erneuerbare Sekundärbrennstoffe
16	Non-RSF	nicht erneuerbare Sekundärbrennstoffe
17	NFW	Einsatz von Süßwasserressourcen
18	HWD	Gefährliche Abfälle zur Deponierung
19	Non-HWD	entsorgte nicht gefährliche Abfälle
20	RWD	entsorgte radioaktive Abfälle
21	CR	Komponenten für die Wiederverwendung
22	MR	Stoffe zum Recycling
23	MER	Stoffe für die Energierückgewinnung
24	EE	exportierte Energie

Tabelle 39: Umweltwirkungen

Für die Makro-Komponenten der Wand wurden die folgenden Einflusskoeffizienten auf null gesetzt: RPE_total, Non_RPE, Non_RER, NonRPE_total, SM, RSF, Non_RSF, HWD, Non_HWD, RWD, CR, MR, MER, EE.

Die Einflusskoeffizienten der Makro-Komponente der Wand, die nicht null sind, werden nachstehend aufgelistet.

Makro-Komponente	Einfluss	GWP	ODP	AP	EP	POCP	ADP_e	ADP_ff	RPE	RER	NFW
B2010.20.1a(Steinwolle)	k _{A1A3}	6,50E-02	6,43E-10	2,65E-04	2,41E-05	3,27E-05	3,06E-08	7,09E-01	7,13E-01	1,86E-01	4,53E-02
B2010.20.1a(Steinwolle)	k _{A4}	5,86E-05	1,03E-15	2,63E-07	6,05E-08	-8,58E-08	2,19E-12	8,14E-04	8,14E-04	3,19E-05	8,27E-04
B2010.20.1a(Steinwolle)	k _{C2}	5,13E-05	8,98E-16	2,28E-07	5,23E-08	-7,40E-08	1,92E-12	7,12E-04	7,12E-04	2,79E-05	7,23E-04
B2010.20.1a(Steinwolle)	k _{C4}	4,94E-04	9,24E-14	7,35E-07	1,13E-07	1,91E-07	4,32E-11	1,68E-03	1,68E-03	1,25E-04	2,46E-03
B2010.20.1a(Steinwolle)	k _D	-1,73E-02	3,41E-10	-4,81E-05	-1,17E-06	-1,13E-05	-2,10E-07	-3,05E-01	-3,14E-01	9,76E-03	9,10E-03
B2010.20.1b(EPS)	k _{A1A3}	5,18E-02	8,13E-10	1,44E-04	1,03E-05	6,33E-05	2,82E-08	6,75E-01	6,81E-01	1,73E-01	-2,27E-02
B2010.20.1b(EPS)	k _{A4}	5,17E-05	9,05E-16	2,32E-07	5,34E-08	-7,57E-08	1,93E-12	7,18E-04	7,18E-04	2,81E-05	7,29E-04
B2010.20.1b(EPS)	k _{C2}	4,33E-05	7,57E-16	1,92E-07	4,41E-08	-6,24E-08	1,62E-12	6,00E-04	6,00E-04	2,35E-05	6,10E-04
B2010.20.1b(EPS)	k _{C4}	6,79E-03	8,54E-14	8,87E-07	1,50E-07	1,70E-07	5,61E-11	1,84E-03	1,84E-03	1,38E-04	1,39E-02
B2010.20.1b(EPS)	k _D	-2,22E-02	3,41E-10	-7,24E-05	-2,60E-06	-1,27E-05	-2,10E-07	-3,70E-01	-3,78E-01	9,55E-03	2,86E-03
B2010.20.1c(XPS)	k _{A1A3}	5,52E-02	6,41E-10	1,53E-04	1,09E-05	3,16E-05	2,99E-08	7,89E-01	7,93E-01	1,79E-01	4,28E-02
B2010.20.1c(XPS)	k _{A4}	6,00E-05	1,05E-15	2,69E-07	6,20E-08	-8,79E-08	2,24E-12	8,33E-04	8,33E-04	3,27E-05	8,47E-04
B2010.20.1c(XPS)	k _{C2}	4,94E-05	8,65E-16	2,19E-07	5,04E-08	-7,13E-08	1,84E-12	6,85E-04	6,85E-04	2,69E-05	6,97E-04
B2010.20.1c(XPS)	k _{C4}	1,07E-02	1,04E-13	1,16E-06	2,01E-07	2,06E-07	7,46E-11	2,36E-03	2,36E-03	1,78E-04	2,14E-02
B2010.20.1c(XPS)	k _D	-2,52E-02	3,41E-10	-8,70E-05	-3,46E-06	-1,36E-05	-2,10E-07	-4,08E-01	-4,17E-01	9,42E-03	-8,93E-04
B2010.20.1d(PUR)	k _{A1A3}	6,70E-02	6,44E-10	1,66E-04	1,43E-05	2,81E-05	8,52E-08	9,22E-01	9,25E-01	1,92E-01	1,27E-01
B2010.20.1d(PUR)	k _{A4}	6,00E-05	1,05E-15	2,69E-07	6,20E-08	-8,79E-08	2,24E-12	8,33E-04	8,33E-04	3,27E-05	8,47E-04
B2010.20.1d(PUR)	k _{C2}	4,94E-05	8,65E-16	2,19E-07	5,04E-08	-7,13E-08	1,84E-12	6,85E-04	6,85E-04	2,69E-05	6,97E-04
B2010.20.1d(PUR)	k _{C4}	7,11E-03	1,30E-13	3,30E-06	7,68E-07	3,15E-07	7,64E-11	3,02E-03	3,02E-03	1,89E-04	1,75E-02
B2010.20.1d(PUR)	k _D	-2,22E-02	3,41E-10	-7,23E-05	-2,60E-06	-1,27E-05	-2,10E-07	-3,70E-01	-3,78E-01	9,55E-03	2,86E-03
B2010.20.1e(Kork)	k _{A1A3}	5,39E-02	6,40E-10	1,60E-04	1,55E-05	2,50E-05	2,72E-08	5,78E-01	5,82E-01	3,90E-01	6,91E-02
B2010.20.1e(Kork)	k _{A4}	9,34E-05	1,64E-15	4,19E-07	9,64E-08	-1,37E-07	3,49E-12	1,30E-03	1,30E-03	5,08E-05	1,32E-03
B2010.20.1e(Kork)	k _{C2}	4,28E-05	7,49E-16	1,90E-07	4,37E-08	-6,17E-08	1,60E-12	5,94E-04	5,94E-04	2,33E-05	6,03E-04
B2010.20.1e(Kork)	k _{C4}	3,98E-04	7,44E-14	5,92E-07	9,07E-08	1,54E-07	3,48E-11	1,36E-03	1,36E-03	1,01E-04	1,98E-03
B2010.20.1e(Kork)	k _D	-1,73E-02	3,41E-10	-4,81E-05	-1,17E-06	-1,13E-05	-2,10E-07	-3,05E-01	-3,14E-01	9,76E-03	9,10E-03

Macro-component	Impact	GWP	ODP	AP	EP	POCP	ADP_e	ADP_ff	RPE	RER	NFW
B2010.20.2a(Steinwolle)	k _{A1A3}	8,12E-02	3,62E-12	1,33E-04	1,58E-05	1,21E-05	4,00E-09	6,11E-01	6,11E-01	1,02E-01	1,56E-01
B2010.20.2a(Steinwolle)	k _{A4}	3,67E-04	6,43E-15	1,65E-06	3,79E-07	-5,37E-07	1,37E-11	5,10E-03	5,10E-03	2,00E-04	5,18E-03
B2010.20.2a(Steinwolle)	k _{C2}	3,21E-04	5,62E-15	1,43E-06	3,28E-07	-4,64E-07	1,20E-11	4,46E-03	4,46E-03	1,75E-04	4,53E-03
B2010.20.2a(Steinwolle)	k _{C4}	1,78E-02	3,32E-12	2,64E-05	4,04E-06	6,86E-06	1,55E-09	6,05E-02	6,05E-02	4,50E-03	8,83E-02
B2010.20.2a(Steinwolle)	k _D	0,00E+00									
B2010.20.2b(EPS)	k _{A1A3}	7,46E-02	8,86E-11	7,23E-05	8,96E-06	2,74E-05	2,81E-09	5,94E-01	5,96E-01	9,56E-02	1,22E-01
B2010.20.2b(EPS)	k _{A4}	3,58E-04	6,27E-15	1,61E-06	3,70E-07	-5,24E-07	1,34E-11	4,97E-03	4,97E-03	1,95E-04	5,05E-03
B2010.20.2b(EPS)	k _{C2}	3,13E-04	5,48E-15	1,39E-06	3,20E-07	-4,52E-07	1,17E-11	4,35E-03	4,35E-03	1,70E-04	4,42E-03
B2010.20.2b(EPS)	k _{C4}	2,09E-02	3,31E-12	2,65E-05	4,06E-06	6,85E-06	1,56E-09	6,06E-02	6,06E-02	4,50E-03	9,40E-02
B2010.20.2b(EPS)	k _D	-2,46E-03	-4,97E-14	-1,22E-05	-7,17E-07	-7,02E-07	-4,49E-11	-3,21E-02	-3,21E-02	-1,06E-04	-3,12E-03
B2010.20.2c(XPS)	k _{A1A3}	7,63E-02	3,00E-12	7,67E-05	9,23E-06	1,15E-05	3,64E-09	6,51E-01	6,51E-01	9,88E-02	1,55E-01
B2010.20.2c(XPS)	k _{A4}	3,59E-04	6,29E-15	1,61E-06	3,71E-07	-5,25E-07	1,34E-11	4,98E-03	4,98E-03	1,95E-04	5,06E-03
B2010.20.2c(XPS)	k _{C2}	3,14E-04	5,50E-15	1,39E-06	3,20E-07	-4,53E-07	1,17E-11	4,36E-03	4,36E-03	1,71E-04	4,43E-03
B2010.20.2c(XPS)	k _{C4}	2,29E-02	3,32E-12	2,66E-05	4,09E-06	6,87E-06	1,57E-09	6,08E-02	6,08E-02	4,52E-03	9,78E-02
B2010.20.2c(XPS)	k _D	-3,94E-03	-7,96E-14	-1,95E-05	-1,15E-06	-1,12E-06	-7,18E-11	-5,14E-02	-5,14E-02	-1,70E-04	-5,00E-03
B2010.20.2d(PUR)	k _{A1A3}	8,22E-02	4,11E-12	8,33E-05	1,09E-05	9,80E-06	3,13E-08	7,17E-01	7,17E-01	1,05E-01	1,97E-01
B2010.20.2d(PUR)	k _{A4}	3,59E-04	6,29E-15	1,61E-06	3,71E-07	-5,25E-07	1,34E-11	4,98E-03	4,98E-03	1,95E-04	5,06E-03
B2010.20.2d(PUR)	k _{C2}	3,14E-04	5,50E-15	1,39E-06	3,20E-07	-4,53E-07	1,17E-11	4,36E-03	4,36E-03	1,71E-04	4,43E-03
B2010.20.2d(PUR)	k _{C4}	2,11E-02	3,34E-12	2,77E-05	4,37E-06	6,92E-06	1,57E-09	6,12E-02	6,12E-02	4,53E-03	9,58E-02
B2010.20.2d(PUR)	k _D	-2,46E-03	-4,99E-14	-1,21E-05	-7,15E-07	-7,02E-07	-4,52E-11	-3,22E-02	-3,22E-02	-1,07E-04	-3,12E-03
B2010.20.2e(Kork)	k _{A1A3}	7,57E-02	2,30E-12	8,06E-05	1,16E-05	8,25E-06	2,27E-09	5,46E-01	5,46E-01	2,04E-01	1,68E-01
B2010.20.2e(Kork)	k _{A4}	3,62E-04	6,35E-15	1,63E-06	3,74E-07	-5,30E-07	1,35E-11	5,03E-03	5,03E-03	1,97E-04	5,11E-03
B2010.20.2e(Kork)	k _{C2}	3,17E-04	5,55E-15	1,41E-06	3,23E-07	-4,57E-07	1,18E-11	4,40E-03	4,40E-03	1,72E-04	4,47E-03
B2010.20.2e(Kork)	k _{C4}	1,77E-02	3,31E-12	2,63E-05	4,03E-06	6,84E-06	1,55E-09	6,03E-02	6,03E-02	4,48E-03	8,80E-02
B2010.20.2e(Kork)	k _D	0,00E+00									

Makro-Komponente	Einfluss	GWP	ODP	AP	EP	POCP	ADP_e	ADP_ff	RPE	RER	NFW
B2010.20.2f(Glaswolle)	k _{A1A3}	7,81E-02	3,81E-12	9,80E-05	1,33E-05	8,60E-06	6,07E-07	6,13E-01	6,13E-01	1,05E-01	1,68E-01
B2010.20.2f(Glaswolle)	k _{A4}	3,61E-04	6,32E-15	1,62E-06	3,73E-07	-5,28E-07	1,35E-11	5,01E-03	5,01E-03	1,96E-04	5,09E-03
B2010.20.2f(Glaswolle)	k _{C2}	3,16E-04	5,53E-15	1,40E-06	3,22E-07	-4,56E-07	1,18E-11	4,38E-03	4,38E-03	1,72E-04	4,45E-03
B2010.20.2f(Glaswolle)	k _{C4}	1,77E-02	3,31E-12	2,63E-05	4,03E-06	6,83E-06	1,55E-09	6,03E-02	6,03E-02	4,48E-03	8,80E-02
B2010.20.2f(Glaswolle)	k _D	5,96E-04	-7,23E-12	3,71E-07	1,04E-06	1,78E-07	1,03E-12	1,80E-04	1,85E-04	-7,20E-05	-1,53E-03

Die Einflusskoeffizienten für die Makro-Komponente der Öffnungen sind für jeden Öffnungstyp identisch. Weiterhin sind die Koeffizienten für die Transporte in Modul A (bezeichnet mit k_{A4}), die Deponierung in Modul C (bezeichnet mit k_{C4}) und die Gutschriften in Modul D (bezeichnet mit k_D) null.

Die Einflüsse der Makro-Komponente der Öffnungen, die nicht null sind, werden nachstehend aufgelistet.

Einfluss	GWP	ODP	AP	EP	POCP	ADP_e	ADP_ff	RPE	RER	RPE_total	Non_RPE	Non_RER
k _{A1A3}	1,39E-01	2,11E-12	5,98E-04	1,09E-04	5,02E-05	8,85E-07	1,64E+00	6,72E-02	0,00E+00	6,72E-02	1,71E+00	1,53E-02
k _{C2}	3,52E-04	4,82E-15	2,24E-06	3,07E-07	2,10E-07	1,33E-10	4,63E-03	3,99E-04	0,00E+00	3,99E-04	4,84E-03	0,00E+00

Einfluss	NonRPE_total	SM	RSF	Non_RSF	NFW	HWD	Non_HWD	RWD	CR	MR	MER	EE
k _{A1A3}	1,73E+00	0,00E+00	2,14E-05	1,97E-04	6,22E-04	0,00E+00	2,25E-01	3,36E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
k _{C2}	4,84E-03	0,00E+00	8,67E-06	1,87E-05	2,64E-06	0,00E+00	2,68E-02	8,47E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00