

Innovative Gebäudekonzepte im ökologischen und ökonomischen Vergleich über den Lebenszyklus

Anhang 1:
Detaillierte Methoden
und Ergebnisse

P.J. Sölkner
A. Oberhuber
S. Spaun
R. Preininger
F. Dolezal
H. Mötzl
A. Passer
G. Fischer

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

51a/2014

Impressum:

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

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

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

Innovative Gebäudekonzepte im ökologischen und ökonomischen Vergleich über den Lebenszyklus

Anhang 1: Detaillierte Methoden und Ergebnisse

DI Petra Johanna Sölkner, DI (FH) Isabella Hofer, DI (FH) Kevin Koke
BTI – Bautechnisches Institut Linz / Energie und Gebäude

DI Robert Preininger, Ing. Karin Kröll
BVFS – Bautechnische Versuchs- und Forschungsanstalt Salzburg

DI Dr. techn. Franz Dolezal, Mag. Christina Spitzbart
HFA – Holzforschung Austria

DI Sebastian Spaun, Mag. Dr. Felix Papsch
VÖZ – Vereinigung der österr. Zementindustrie / Technologie & Umwelt

Mag. Andreas Oberhuber
FGW – Forschungsgesellschaft für Wohnen, Bauen, Planen

Mag. Anja Karlsson
OFI – Österreichisches Forschungsinstitut für Chemie und Technik

Mag. Hildegund Mötzl
IBO – Österreichisches Institut für Baubiologie und Bauökologie

Univ.-Prof. DI Dr. Peter Maydl, Ass.-Prof. DI Dr. Alexander Passer, MSc,
DI Gernot Fischer
TU Graz / Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie

Wien/Linz/Salzburg/Graz, Dezember 2013

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm *Haus der Zukunft* des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie.

Die Intention des Programms ist, die technologischen Voraussetzungen für zukünftige Gebäude zu schaffen. Zukünftige Gebäude sollen höchste Energieeffizienz aufweisen und kostengünstig zu einem Mehr an Lebensqualität beitragen. Manche werden es schaffen, in Summe mehr Energie zu erzeugen als sie verbrauchen („Haus der Zukunft Plus“). Innovationen im Bereich der zukunftsorientierten Bauweise werden eingeleitet und ihre Markteinführung und -verbreitung forciert. Die Ergebnisse werden in Form von Pilot- oder Demonstrationsprojekten umgesetzt, um die Sichtbarkeit von neuen Technologien und Konzepten zu gewährleisten.

Das Programm *Haus der Zukunft Plus* verfolgt nicht nur den Anspruch, besonders innovative und richtungsweisende Projekte zu initiieren und zu finanzieren, sondern auch die Ergebnisse offensiv zu verbreiten. Daher werden sie in der Schriftenreihe publiziert und elektronisch über das Internet unter der Webadresse www.HAUSderZukunft.at Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

DI Michael Paula
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

Anhang 1 zum Ergebnisbericht Hauptteil	7
1 Schematische Darstellung der Gebäudepläne	7
2 Detaillierte Methodik der Bilanzierung LCA Haustechnik	8
2.1 BaubookPlus	8
2.2 Aktualisierung der BaubookPlus-Daten im Rahmen der vorliegenden Studie	9
2.3 Systemabgrenzungen	9
2.4 Nutzungsdauern und Gebäudelebensdauer	9
2.5 Modellierung der Entsorgung	9
2.6 Dokumentation der verwendeten Module	10
3 Grundlagen und angewandte Methodik für die Erstellung der Ökobilanz (LCA) der Massivbauweisen.....	15
3.1 Bewertungszweck	16
3.2 Festlegung des Bewertungsgegenstandes.....	16
3.3 Betrachtungszeitraum	17
3.4 Systemgrenze	17
3.4.1 Herstellungsphase (Module A1-A3)	18
3.4.2 Errichtungsphase (Module A4-A5)	19
3.4.3 Nutzungsphase (Module B1-B7)	19
3.4.4 Entsorgungsphase (Module C1-C4).....	20
3.4.5 Ergänzende Informationen (Modul D)	21
3.5 Gebäudemodell.....	21
3.6 Festlegen und Entwickeln von Szenarien über den Gebäudelebenszyklus	22
3.6.1 Zeitbezogene Eigenschaften und dazugehörige Szenarien	22
3.6.2 Szenarien für die Herstellungsphase (Module A1-A3).....	23
3.6.3 Szenarien für die Bauprozessphase (Module A4-A5).....	23
3.6.4 Szenarien für die Nutzungsphase (Module B1-B7).....	23
3.6.5 Szenarien für den Austausch (Modul B4)	23
3.6.6 Szenarien für die Entsorgungsphase (Module C1-C4)	23
3.6.7 Entwicklung von Szenarien für die Abfallbehandlung, die Wiederverwendung, das Recycling und die Energierückgewinnung (Modul C3)	24
3.6.8 Szenarien für die Beseitigung (Modul C4)	24
3.6.9 Szenarien für die Vorteile und Belastungen jenseits der Systemgrenze (Modul D) .	24
3.7 Quantifizierung des Gebäudes und seines Lebenszyklus	24
3.7.1 Festlegung der Nettomenge.....	24
3.7.2 Berücksichtigung der Bruttomenge	25
3.7.3 Tausch von Komponenten und Austauschhäufigkeit.....	25
3.7.4 Datentyp für die Bewertung.....	26
3.7.5 Datenqualität und Vollständigkeit.....	26
3.7.6 Quantifizierung Energie- und Wassernutzung im Betrieb	27
3.8 Berechnung der Umweltindikatoren.....	27
3.8.1 Umweltauswirkungen und -aspekte sowie dazugehörige Indikatoren	27
3.8.2 Berechnungsmethode	28
4 Detaillierte Methodik der Bilanzierung LCA Holzgebäude.....	28
4.1.1 A1-3 Herstellungsphase	29
4.1.2 A4 Transporte zur Baustelle.....	30

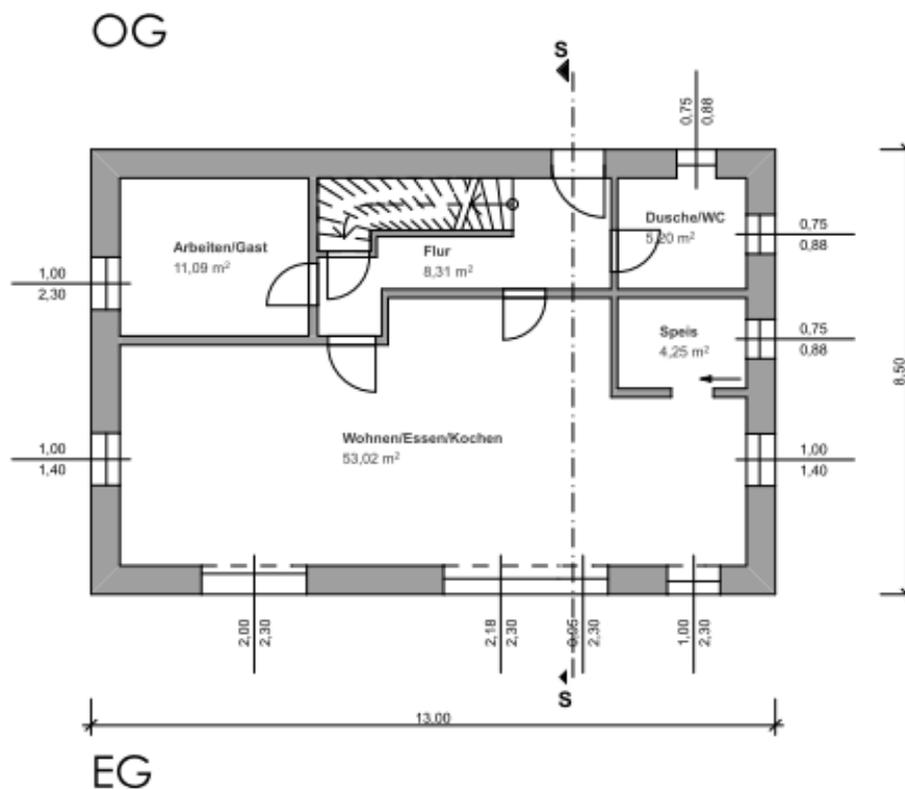
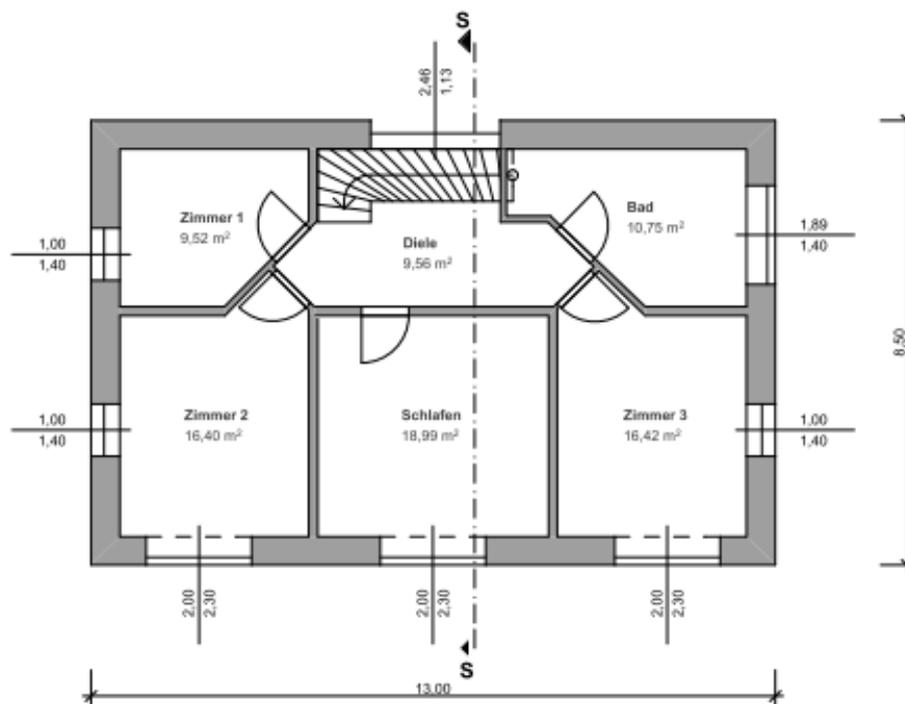
4.1.3	A5 Errichtung des Gebäudes	30
4.1.4	B4 Materialtausch in der Nutzungsphase	31
4.1.5	B6 Energieeinsatz während der Gebäudenutzung	31
4.1.6	C2-C4 Phasen am Ende des Lebenszyklus	32
4.1.7	D Ergänzende Informationen außerhalb des Lebenszyklus – Vorteile und Belastungen	32
4.2	Datengrundlage.....	33
4.3	Indikatoren	33
5	Grundlagen und angewandte Methodik für die Berechnung der Lebenszykluskosten (LCC – Life Cycle Costing).....	35
5.1	Grundsätze der Bewertung der ökonomischen Gebäudequalität.....	36
5.2	Bewertung der über den Verlauf des Lebenszyklus entstandenen Kosten.....	36
5.3	Bewertung der ökonomischen Qualität als Kapitalwert	36
5.4	Anforderungen an das Bewertungsverfahren	37
5.4.1	Bewertungsgegenstand und Systemgrenze	37
5.4.2	Funktionales Äquivalent als Grundlage für die Vergleichbarkeit	37
5.4.3	Zuordnung der Daten zum Gebäudelebenszyklus.....	37
5.4.4	Ökonomische Aspekte und Auswirkungen auf Gebäudeebene	38
5.4.5	Szenarien für die ökonomische Gebäudebewertung	41
5.5	Bericht und Ergebniskommunikation	41
5.5.1	Bewertungsergebnisse.....	41
5.5.2	Funktionales Äquivalent	43
5.5.3	Technische und funktionale Anforderungen	43
5.6	Überblick über die Bewertungsmethodik für die Bewertung der ökonomischen Qualität von Gebäuden	43
6	Angenommene Nutzungsdauern der Bauprodukte und Baumaterialien für die Bilanzierung (LCA und LCC)	45
7	Detailergebnisse der Ökobilanzierung Haustechnik (LCA)	48
7.1	Herstellungsphase Heizung und Lüftung (A1-A3)	48
7.1.1	Niedrigenergiehaus mit Wärmepumpe (NEH1)	48
7.1.2	Niedrigenergiehaus mit Pelletsheizung (NEH2).....	49
7.1.3	Passivhaus mit Wärmepumpe (PH1)	49
7.1.4	Plusenergiehaus (PEH).....	50
7.2	Materialbezogene Nutzungsphase Heizung und Lüftung (B4)	51
7.2.1	Niedrigenergiehaus mit Wärmepumpe (NEH1)	51
7.2.2	Niedrigenergiehaus mit Pelletsheizung (NEH2).....	52
7.2.3	Passivhaus mit Wärmepumpe (PH1)	52
7.2.4	Passivhaus mit Pelletsheizung (PH2)	53
7.2.5	Sonnenhaus (SH).....	53
7.2.6	Plusenergiehaus (PEH).....	54
7.3	Energiebezogene Nutzungsphase (B6).....	54
7.4	Entsorgungsphasen Heizung und Lüftung.....	56
7.4.1	Entsorgung Heizung und Lüftung Phase B4 (Erneuerung / Umbau).....	56
7.4.2	Entsorgung Heizung und Lüftung Phase C.....	56
8	Gesamtergebnisse aus dem Vergleich der Bilanzierungsdatenbanken (LCA) für drei ausgewählte Aufbauten	57
8.1	Beschreibung der Beispielaufbauten	57
8.2	Ergebnisse aller Indikatoren für drei Beispielaufbauten	58

8.2.1	Ziegelaußenwand (einheitlich mit UCTE-Strommix)	59
8.2.2	Holzrahmenaußenwand (einheitlich mit UCTE Strommix).....	60
8.2.3	Stahlbetondecke (einheitlich mit UCTE-Strommix).....	61
8.2.4	Ziegelaußenwand (mit unterschiedlichem Strommix)	62
8.2.5	Holzrahmenaußenwand (mit unterschiedlichem Strommix)	63
9	Verzeichnisse.....	64
9.1	Literatur- und Quellenverzeichnis	64
9.2	Abbildungsverzeichnis	64
9.3	Tabellenverzeichnis	65

Anhang 1 zum Ergebnisbericht Hauptteil

Als Ergänzung zum Ergebnisbericht sind in den folgenden Unterkapiteln die Plangrundlagen, die detaillierten Methoden der Bilanzierung, Systemabgrenzungen sowie ergänzende Ergebnisdarstellungen angeführt.

1 Schematische Darstellung der Gebäudepläne





2 Detaillierte Methodik der Bilanzierung LCA Haustechnik

2.1 BaubookPlus

Mit dem Auftraggeber wurde vereinbart, dass weitestgehend auf vorhandene (generische) Datensätze zugegriffen werden kann. Dadurch konnte auf Ergebnisse des „Haus der Zukunft“-Projekts BAUBOOK PLUS (2012) zurückgegriffen werden, in dem Referenzdatensätze für Haustechnikkomponenten erarbeitet wurden. Die Haustechnikkomponenten wurden damals auf Basis von ecoinvent v2.0 bilanziert und entsprechend der Systemgrenzen im Gebäudelebenszyklus adaptiert. Wiederkehrende Eingriffe in die ecoinvent Sachbilanzen waren:

- Entfernen von Entsorgungsprozessen der Komponente, da außerhalb der Systemgrenze A1-A3
- Entfernen von Transporten zur Baustelle und von Prozessen auf der Baustelle, da außerhalb der Systemgrenze A1-A3
- Ersetzen der ecoinvent-Basisdaten (Metalle, Dämmstoffe, Beton) durch IBO-Basisdaten
- Ersetzen von herstellereigenen Energiedaten durch europäische Durchschnittsdaten (IBO-Methode für Referenzdaten)

Für den Fall, dass keine Literaturdaten gefunden wurden und zum Plausibilitätscheck der Literaturdaten wurden mit Hilfe der Haustechnikexperten der Firma new energy eigene Massenbilanzen erstellt. Die wesentlichen Quellen und Annahmen zu den bilanzierten Haustechnikkomponenten sind zusammengestellt im Endbericht BAUBOOK PLUS – Anhang 1 (2012).

Wegen ihrer Bedeutung für Plusenergiegebäude wurde hier eine vertiefte Literaturrecherche für Photovoltaikanlagen durchgeführt (BAUBOOK PLUS – Anhang 2, 2012).

2.2 Aktualisierung der BaubookPlus-Daten im Rahmen der vorliegenden Studie

Im Vergleich zum Projekt BAUBOOK PLUS wurden folgende Anpassungen durchgeführt:

- Die Daten wurden auf Basis von ecoinvent v2.2 statt ecoinvent v2.0 berechnet.
- Die Metalldatensätze wurden an die EN 15804 (keine Berücksichtigung des Metallrecyclings am Ende des Lebenszyklus) angepasst.
- Eigene Massenbilanzen des OFI bzw. des IBO für fehlende Module wurden ergänzt.

Die verwendeten Datensätze sind im Detail im Anhang „Dokumentation der verwendeten Datensätze“ angeführt.

2.3 Systemabgrenzungen

Abgrenzung zwischen Gebäude und haustechnischen Anlagen:

- Der Kamin wurde bei der Bilanzierung der haustechnischen Anlagen berücksichtigt
- Das Estrichset wurde bei der Bilanzierung der haustechnischen Anlagen NICHT berücksichtigt.

Der Transport zur Baustelle (A4) und die Baustellenprozesse (A5) sind nicht Gegenstand des Projekts. Personalaufwände (z.B. Inbetriebnahme von Wärmepumpenanlagen) wurden nicht bilanziert.

2.4 Nutzungsdauern und Gebäudelebensdauer

Als Gebäudelebensdauer wurden 100 Jahre angesetzt. Die Nutzungsdauern der Haustechnikkomponenten sind gemäß Liste anzunehmen. Fehlende Nutzungsdauern wurden in den Berechnungen ergänzt. Es wurden ganzzahlige Austauschraten zugrunde gelegt.

2.5 Modellierung der Entsorgung

Für die Modellierung der Entsorgung der Haustechniksysteme wurde der Rohstoffinput für die Herstellung der jeweiligen Komponente in Materialfraktionen sortiert und entsprechenden Entsorgungsprozessen laut Tabelle 1 zugeordnet.

Tabelle 1: Zuordnung der Materialfraktionen zu Entsorgungsprozessen

Materialfraktion	Entsorgungsprozess
Kunststoffe	Entsorgung, Polystyrol in MVA
Metall	Entsorgung, Metall zu Recycling, direkt ins Zwischenlager
Mineralwolle	Entsorgung, Mineralwolle auf Deponie, über Sortieranlage
Glas	Entsorgung, Fensterglas auf Deponie, direkt
Baurestmassen	Entsorgung, BRM auf Deponie, direkt
Kältemittel (R134a)	20 % diffuse R134a-Emissionen bei der Entsorgung

2.6 Dokumentation der verwendeten Module

In Tabelle 2 werden die bilanzierten Module der haustechnischen Anlage der untersuchten Haustechnikvarianten genau aufgelistet.

Tabelle 2: Aufstellung der verwendeten Module zur Bilanzierung der Haustechnik (LCA)

Leistungsposition	Basismodul	Anpassung / Eingabedaten	Interne Bezeichnung
Wärmebereitstellung			
Erdwärmekollektor	Eigenes Modul ofi auf Basis von Massenbilanz	Polyethylen-Rohre: 0,172 kg pro m Glykol: 0,616 kg pro m	Erdwärmekollektor inkl. Glykolfüllung (2013)
Sole/Wasser Wärmepumpenanlage 10 kW	ecoinvent: Wärmepumpe, Sole-Wasser, 10kW	<ul style="list-style-type: none"> enthält R134a Kältemittel: 3,09 kg in; 0,09 out; Annahmen Kältemittel: muss einmal während Nutzungsdauer nachgefüllt werden 100% diffuse Emissionen während Nutzungsdauer 20 % diffuse Emissionen bei Entsorgung Zement durch eigenen Basisdatensatz ersetzt 	Wärmepumpe, Sole-Wasser, 10kW (2013) R134a Emissionen
...inkl. 170 l Warmwasserspeicher	ecoinvent: Wärmespeicher 2000l, ab Werk	Siehe Warmwasserspeicher 200l weiter unten Wärmetauscher ist bereits enthalten	Warmwasserspeicher, Edelstahl, 200l (HT, 2013)
Anschlusset, Druckwächter, Wärmemengenzähler der Wärmepumpenanlage	--> vernachlässigt		
Aushub für Erdwärmekollektor	--> nicht berücksichtigt, da Lebensphase A4		
Pelletsofen	Eigenes Modul auf Basis von ecoinvent-Bericht No 6, Teil IX „Holzenergie“	<ul style="list-style-type: none"> Materialbedarf für Holzfeuerungskessel gemäß Tabelle 7.2 Strom- (UCTE) und Wärmebedarf zur Herstellung der Feuerungskessel gemäß Tabelle 7.5 Transporte: durchschnittlich 200 km 	Pelletsofen 15 kW (HT-Vergleich, 2013)
Förderschnecke	Eigenes Modul auf Basis von ecoinvent: furnace, wood chips, hardwood, 50kW/p/CH/I	<ul style="list-style-type: none"> 30 kg Stahl 6 tkm Transport Lorry 3,5-15t 	Förderschnecke für Holzschnitzelfeuerung 50+300 kW (HT-Vergleich, 2013)
Alu-Kollektor SOLrose 2,6 m ² stehend	ecoinvent: Flachkollektor, ab Werk	<ul style="list-style-type: none"> Entsorgungsprozesse entfernt Schweizer Energiedaten durch UCTE-Daten ersetzt Steinwolle durch eigenen Basisdatensatz ersetzt. Tausch der Wärmeträgerflüssigkeit nach 10 Jahren 2,597 m² je Stück eingegeben 	SimaPro: Flachkollektor (HT-Vergleich, 2013)
POWALL Vario Kachelofen	Eigenes Modul auf Basis von ecoinvent-Bericht No. 6, Teil IX „Holzenergie“	<ul style="list-style-type: none"> Materialverbrauch für Holzfeuerungskessel gemäß Tabelle 7.2 des ecoinvent-Berichts Strom- (UCTE) und Wärmebedarf zur Herstellung der Feuerungskessel gemäß Tabelle 7.5 des ecoinvent-Berichts Kachel mit Dachziegel ange- 	Stückholzkessel 30 kW (HT-Vergleich, 2013)

		<ul style="list-style-type: none"> nähert Transporte: durchschnittlich 200 km 	
Membranausdehnungsgefäß Solarkreis	ecoinvent: Expansionsgefäß 80l, ab Werk	<ul style="list-style-type: none"> Entsorgungsprozesse entfernt Schweizer Energiedaten durch UCTE-Daten ersetzt 	Ausdehnungsgefäß 80l (HT-Vergleich, 2013)
Frostschutzmittel	ecoinvent: Propylene glycol, liquid, at plant/RER U	<ul style="list-style-type: none"> ist bereits in Modul Flachkollaktor enthalten (1,01 kg/m²) 	Frostschutzmittel (HT, 2013)
Regelung gem. Jenni	ecoinvent: Steuerung, Verkabelung, dezentral	<ul style="list-style-type: none"> keine 	Lüftungsanlagensteuerung inkl. Kabel
Kamin	Eigenes Modul HFA	<ul style="list-style-type: none"> 209 kg Beton pro m 45,65 kg Porenbeton pro m 49,25 kg Schamotterrohr pro m 	Kamin
Kamin	nicht verwendet: Edelstahlkamin	<ul style="list-style-type: none"> Stahl: 3,737 kg pro m Mineralwolle: 0,667 kg pro m 	Edelstahlkamin
Wärmetauscher und Speicher			
Warmwasserspeicher 200l	ecoinvent: Wärmespeicher 2000l, ab Werk	<ul style="list-style-type: none"> Massenkorrekturfaktor: 0,22 Entsorgungsprozesse entfernt, Schweizer Energiedaten durch UCTE-Daten ersetzt, herstellereigene Energie aus PV-Anlage durch Strom aus Netz ersetzt; Glaswolle durch eigenen Basisdatensatz ersetzt. 	Warmwasserspeicher, Edelstahl, 200l (HT, 2013)
Warmwasserspeicher 300l	ecoinvent: Wärmespeicher 2000l, ab Werk	<ul style="list-style-type: none"> Massenkorrekturfaktor: 0,29 	Warmwasserspeicher, Edelstahl, 300l (HT-Vergleich, 2013)
Heizungsspeicher 1000l	ecoinvent: Wärmespeicher 2000l, ab Werk	<ul style="list-style-type: none"> Massenkorrekturfaktor: 0,624 Rest siehe oben 	Warmwasserspeicher, Edelstahl, 200l (HT, 2013)
Solartank (Jenni Energietechnik AG) Typ JF14F120;	Eigene Berechnung auf Basis von Warmwasserspeicher, Edelstahl, 2000l (HT-Vergleich, 2013)	<ul style="list-style-type: none"> Massenkorrekturfaktor: 2,42 (Abm: 7300l; d 1400mm; h 4820mm; 1000 kg) 200 mm Glaswolle-Isolierung 1 mm Aluminiumfolie 3 mm Polypropylengehäuse Res. Gewicht: 1330 kg (Gewicht Jenni 9600 Liter: 1320 kg) 	Warmwasserspeicher, Edelstahl, 2000l (HT-Vergleich, 2013)
Frischwassermodul zu WW-Bereitung im Durchlauferhitzerprinzip	--> vernachlässigt		
Flächenheizung			
Flächenheizsystem Verlegeabstand 10-15	Eigenes Modul IBO auf Basis von ecoinvent "Wärmeverteilung, Fußbodenheizung, 150 m ² " und Massenbilanzen	<ul style="list-style-type: none"> PE-Alu-Rohr: 8 m / m² 	Fußbodenheizung, Verlegeabstand 12,5 cm (HT-Vergleich, 2013)
Flächenheizsystem Verlegeabstand 15-30	Fußbodenheizung, Verlegeabstand 12,5 cm (HT-Vergleich, 2013)	<ul style="list-style-type: none"> Massenkorrekturfaktor: 0,556 	Fußbodenheizung, Verlegeabstand 12,5 cm (HT-Vergleich, 2013)
Flächenheizsystem Verlegeabstand 20	Fußbodenheizung, Verlegeabstand 12,5 cm (HT-Vergleich, 2013)	<ul style="list-style-type: none"> Massenkorrekturfaktor: 0,625 	Fußbodenheizung, Verlegeabstand 12,5 cm (HT-Vergleich, 2013)
Anbindeleitung	Eigenes Modul IBO auf Basis von ecoinvent "Wärmeverteilung, Fußbodenheizung, 150 m ² " und Massenbilanzen		PE-Alu-Rohr für Fußbodenheizung (HT-Vergleich, 2013)
Estrichset	--> Baumaterialien		
Ausheizen des Estrichs	--> Baumaterialien, A4 wird ohnehin nicht berücksichtigt		

Zubehör (Heizkreisverteiler etc.)	Eigenes Modul	<ul style="list-style-type: none"> • 10 kg Edelstahl • 2 kg Polypropylen 	Fußbodenheizung, Zubehör
Pumpen und Ausdehngefäße			
Umwälzpumpe (GRUNDFOS)	ecoinvent, pump 40W (deutsch: Umwälzpumpe 40W)	<ul style="list-style-type: none"> • Entsorgungsprozesse entfernt 	Umwälzpumpe für Solaranlagen (HT-Vergleich, 2013)
Ausdehngefäß	ecoinvent, Expansionsgefäß 80l, ab Werk)	Entsorgungsprozesse entfernt Schweizer Energiedaten durch UCTE-Daten ersetzt	Ausdehnungsgefäß 80l (HT-Vergleich, 2013)
Rohre und Kälteedämmungen			
ms GR aus nahtl. Schw. DN32 1 1 1/4	Eigenes Modul ofi auf Basis von Massenbilanz	<ul style="list-style-type: none"> • 1,2313 kg Stahl pro m • 0,2105 kg Zink pro m • Rohrherstellung • Transport: 100 km LKW, 200 km Bahn 	Stahlrohr DN 32 (HT-Vergleich, 2013)
5-Schichten Verbundrohr, KM Modulrohr Stangenware 20x2,25	Eigenes Modul ofi auf Basis von Massenbilanz	<ul style="list-style-type: none"> • 1,0108 kg Stahl pro m • 1,728 kg Zink pro m • Rohrherstellung • Transport: 100 km LKW, 200 km Bahn 	Stahlrohr DN 25 (HT-Vergleich, 2013)
WD Rohr m.Alu-Grobkorn MW Matte 30 mm DN25	Eigenes Modul ofi auf Basis von Massenbilanz	<ul style="list-style-type: none"> • 0,0302 kg Mineralwolle pro m • 0,1484 kg Aluminiumdichtungsbahn pro m 	Wärmedämmung für Rohr DN 25, MW-Matte 30 mm mit Alu-Ummantelung (HT-Vergleich, 2013)
Wärmedämmung (KE KELIT) Az. Ro.LX-Schlauch 9 mm DN20	Eigenes Modul ofi auf Basis von Massenbilanz	<ul style="list-style-type: none"> • 0,0302 kg Mineralwolle pro m 	Wärmedämmung für Rohr DN 25, MW-Matte 30 mm (HT-Vergleich, 2013)
Kleinteile			
Armaturen für Heizungsanlage	--> vernachlässigt		
Mess- und Kontrollgeräte	--> vernachlässigt		
Dreiweghahn	--> vernachlässigt		
Lüftungsanlage			
Einzelraumentlüfter	Eigenes Modul IBO Quelle: Schallgedämmter Rohrventilator TD-500/150-160 SILENT ECOWATT (Volumenstrom: 545 m ³ /h freiblasend)	<ul style="list-style-type: none"> • Gewicht: 8,7 kg • Gehäuse aus PP-Kunststoff • Laufrad aus ABS-Kunststoff, • Max. Leistungsaufnahme 39 W • Jährlicher Stromverbrauch (geschätzt): 15 kWh 	Einzelraumentlüfter
Wetterschutzgitter	Eigenes Modul IBO; Quelle: http://81.169.162.205/Luftladen-p369h25s26-Edelstahl-Ausswandi.htm?sid=934a025494427dfc5186e205dd5b46f3	DN 125, Außenmaße: 266 mm * 246 mm Edelstahl Gewicht: 2 kg	Wetterschutzgitter
Filterkasten mit Wetterschutzgitter	Eigenes Modul IBO Quell: Drexel&Weiss Zubehör	<ul style="list-style-type: none"> • Abmessungen ca. 600x600x600 • Dicke (geschätzt): 0,003 mm • Wetterschutzgitter 	Filterkasten mit Wetterschutzgitter
Luft-Erwärmetauscher	ecoinvent: Erdregisterrohr, PE, DN 200		Erdregisterrohr, PE, DN 200
Wohnraumlüftung mit WRG: Lüftungsgerät	ecoinvent: Lüftungsgerät, dezentral, 180-250 m ³ /h	Lüftung mit WRG Dämmung durch IBO-Datensatz ersetzt.	Lüftungsgerät, dezentral, 180-250 m ³ /h (HT-Vergleich, 2013)
... und Luft-Luft-Wärmepumpe zur Warmwasserbereitung	ecoinvent: heat pump, brine water, 10kW	<ul style="list-style-type: none"> • Materialeinsatz um Faktor 2 höher als für Sole-Wasser-Wärmepumpe (ecoinvent-report Nr. X „Wärmepumpen“) • Kältemittel um Faktor 1,6 höher als für Sole-Wasser-Wärmepumpe (ecoinvent- 	Wärmepumpe, Luft-Wasser, 10 kW

		<p>report Nr. X „Wärmepumpen“)</p> <ul style="list-style-type: none"> Annahmen Kältemittel: muss einmal während Nutzungsdauer nachgefüllt werden 100% diffuse Emissionen während Nutzungsdauer 20 % diffuse Emissionen bei Entsorgung 	
... (Kompaktgerät inkl. Warmwasserspeicher 200l)	ecoinvent: Wärmespeicher 2000l, ab Werk	Siehe Warmwasserspeicher 200l weiter oben unter „Wärmetauscher und Speicher“	Warmwasserspeicher, Edelstahl, 200l (HT-Vergleich, 2013)
Zulufterwärmung	--> vernachlässigt		
Nicht in LV	ecoinvent: Zu- und Abluftfilter, dezentral, 180-250 m ³ /h	<ul style="list-style-type: none"> keine Nutzungsdauer: 0,5 Jahre 	Taschenfilter, dezentral, 180-250 m ³ /h
Nicht in LV	ecoinvent: Außenluftansaugung, Edelstahl	<ul style="list-style-type: none"> keine 	Außenluftansaugung, Edelstahl
Nicht in LV	Dachdurchführung, Stahl, DN400	<ul style="list-style-type: none"> keine 	Fortluft Abzugshaube Dach, Stahl
Nicht in LV	ecoinvent: AP-Luftverteilerkasten, Stahl, 120 m ³ /h	<ul style="list-style-type: none"> keine 	AP-Luftverteilerkasten, Stahl, 120 m ³ /h
Rohrschalldämpfer DN 160	ecoinvent: Schalldämpfer, Stahl, DN 125 bzw DIN 315	<ul style="list-style-type: none"> Schweizer Strommix durch UCTE-Mix ersetzt 	Schalldämpfer DN 315 in Lüftungsanlage, Stahl (HT-Vergleich, 2013)
Volumenstromregler DN 160	ecoinvent: Überströmelement, Stahl, ca. 40 m ³ /h	<ul style="list-style-type: none"> keine 	Überströmelement, Stahl
elektronisches Raumbediengerät	ecoinvent: Steuerung, Verkabelung, zentral bzw. dezentral	<ul style="list-style-type: none"> keine 	Lüftungsanlagensteuerung inkl. Kabel
Wickelfalzrohr Stahl, verz. 0,45 DN 100	ecoinvent: Wickelfalzrohr, Stahl, DN 125	<ul style="list-style-type: none"> Massenkorrekturfaktor: 0,8 	Wickelfalzrohr DN 100, Stahl (HT-Vergleich, 2013)
Wickelfalzrohr Stahl, verz. 0,45 DN 125	ecoinvent: Wickelfalzrohr, Stahl, DN 125	<ul style="list-style-type: none"> keine 	Wickelfalzrohr DN 125, Stahl (HT-Vergleich, 2013)
Wickelfalzrohr Stahl, verz. 0,45 DN 160	ecoinvent: Wickelfalzrohr, Stahl, DN 125	<ul style="list-style-type: none"> Massenkorrekturfaktor: 1,28 	Wickelfalzrohr DN 160, Stahl (HT-Vergleich, 2013)
Zuluftauslass	ecoinvent: Zulufteinlass, Stahl / SS, DN 75	<ul style="list-style-type: none"> keine 	Zulufteinlass, Stahl
Abluftventil schallgedämmt 100	ecoinvent: Abluftventil, UP-Gehäuse, Kunststoff / Stahl, DN 125	<ul style="list-style-type: none"> keine 	Abluftventil, UP-Gehäuse, Kunststoff/Stahl
KD Luftl.rund Pl.Elasto.19/100	Basismodul: Tube insulation, elastomere, at plant/DE S	<ul style="list-style-type: none"> 0,55 kg tube insulation Transport LKW: 100 km, Bahn: 200 km 	Kälte­dämmung 19 mm für Rohr DN 100 (HT-Vergleich, 2013)
KD Luftl.rund Pl.Elasto.19/125	Basismodul: Tube insulation, elastomere, at plant/DE S	<ul style="list-style-type: none"> 0,62 kg tube insulation Transport LKW: 100 km, Bahn: 200 km 	Kälte­dämmung 19 mm für Rohr DN 125 (HT-Vergleich, 2013)
KD Luftl.rund Pl.Elasto.19/160	Basismodul: Tube insulation, elastomere, at plant/DE S	<ul style="list-style-type: none"> 0,82 kg tube insulation Transport LKW: 100 km, Bahn: 200 km 	Kälte­dämmung 19 mm für Rohr DN 160 (HT-Vergleich, 2013)
Elektrotechnik			
Photovoltaikpaneel	Eigenes Modul auf Basis von ecoinvent Solarpaneel, single-Si	Siehe BAUBOOK PLUS – ANHANG 2 (2012)	Photovoltaikpaneel, mono-Si (HT-Vergleich, 2013)
Nicht in LV			Wechselrichter 2500 W
Nicht in LV			Elektroinstallationen für 3 kWp Photovoltaikanlage
Nicht in LV			Schägdachkonstruktion integriert für PV
Radiator	Eigenes Modul auf Basis von Massenbilanz	<ul style="list-style-type: none"> Höhe 1100mm Länge 600mm Leistung: 663 Watt 	Handtuchradiator, Heizkörper (HAT-Vergleich, 2013)

		<ul style="list-style-type: none"> • 11,8 kg Stahl • 0,03 kg Pulverlack 	
Niederspannungsverteilungen	--> nicht berücksichtigt		
Kabel f. Energie- und Nachrichtenübertragung	Quelle: eigenes Modul IBO auf Basis von Massenbilanz	<ul style="list-style-type: none"> • Einheitlich PVC-Kabel 3 x 1,5mm² • 0,045 kg Kuper • 0,09 kg PVC 	Elektrokabel (PVC) NYM (YM) 3x1,5 mm ² (HT, 2013)
Isolierte Leitungen	Quelle: eigenes Modul IBO auf Basis von Massenbilanz	<ul style="list-style-type: none"> • Einheitlich für alle: PVC-Kabel 3 x 1,5mm² • 0,045 kg Kuper • 0,09 kg PVC 	Elektrokabel (PVC) NYM (YM) 3x1,5 mm ² (HT, 2013)
Verrohrung unter Putz	Quelle: eigenes Modul auf Basis von Massenbilanz	<ul style="list-style-type: none"> • KS Rohr 450N sw st iK 50: 0,152 kg PP • KS Rohr 450N sw st iK 110: 0,3 kg PP • alle anderen mit Oberflächenfaktor aus PP-Rohr DN 50 berechnet. 	PP-Rohr DN 50 (HT-Vergleich, 2013) PP-Rohr DN 100 (HT-Vergleich, 2013)
Schalt-, Steuer- und Steckgeräte	--> nicht berücksichtigt		
Erdungs- und Blitzschutzanlage	--> nicht berücksichtigt		
Antennenanlage	--> nicht berücksichtigt		
Nutzungsdauer Elektro, wenn nicht wie für PV und Radiatoren anders vereinbart		<ul style="list-style-type: none"> • 50 Jahre 	
Sanitär			
Sanitärinstallationen vorgefertigt	--> nicht berücksichtigt		
Wandtiefspülklosett	Eigenes Modul auf Basis von Massenbilanz	<ul style="list-style-type: none"> • 20 kg Sanitärkeramik 	WC bodenstehend, inkl. Keramikspülkasten (HT-Vergleich, 2013)
Waschtisch	Angenähert durch Duschwanne	<ul style="list-style-type: none"> • 1/2 WC bodenstehend 	Duschwanne 900x900x65, Stahl , emailliert (HT-Vergleich, 2013)
Badewanne	Eigenes Modul auf Basis von Massenbilanz	<ul style="list-style-type: none"> • 48,8 kg Stahl • 2,367 m² Emaillierung • Transport LKW: 100 km, Bahn: 200 km 	Badewanne 1700x750x410, Stahl , emailliert (HT-Vergleich, 2013)
Duschwanne	Eigenes Modul auf Basis von Massenbilanz	<ul style="list-style-type: none"> • 21,9 kg Stahl • 2,367 m² Emaillierung • Transport LKW: 100 km, Bahn: 200 km 	Duschwanne 900x900x65, Stahl , emailliert (HT-Vergleich, 2013)
Spülbecken	Angenähert durch Duschwanne	<ul style="list-style-type: none"> • 1/2 Duschwanne 	Duschwanne 900x900x65, Stahl , emailliert (HT-Vergleich, 2013)
PP-Abflussrohre	Eigenes Modul auf Basis von Massenbilanz	<ul style="list-style-type: none"> • DN 50: 0,152 kg Polypropylen • DN70: 0,21 kg Polypropylen • DN100: 0,3 kg Polypropylen • Transport LKW: 100 km, Bahn: 200 km 	
Verbundrohre	Angenähert durch PE-Alu-Rohr für Fußbodenheizung	<ul style="list-style-type: none"> • Siehe „Flächenheizung“ weiter oben 	PE-Alu-Rohr für Fußbodenheizung (HT-Vergleich, 2013)
WD Rohr m.Alu-Grobkorn MW Matte 30 mm DN25	Eigenes Modul ofi auf Basis von Massenbilanz	<ul style="list-style-type: none"> • 0,0302 kg Mineralwolle pro m • 0,1484 kg Aluminiumdichtungsbahn pro m 	Wärmedämmung für Rohr DN 25, MW-Matte 30 mm mit Alu-Ummantelung (HT-Vergleich, 2013)
Armaturen, Anschlüsse etc.	--> vernachlässigt		
Nutzungsdauer Sanitär		<ul style="list-style-type: none"> • 50 Jahre 	

3 Grundlagen und angewandte Methodik für die Erstellung der Ökobilanz (LCA) der Massivbauweisen

Die vorliegende Bewertung der umweltbezogenen Qualität der Bauvarianten wurde in Anlehnung an die ÖNORM EN 15978 erstellt. Im Zuge des Forschungsprojektes wurden von der Arbeitsgruppe Nachhaltigkeitsbewertung des Instituts für Materialprüfung und Baustofftechnologie der TU Graz umweltbezogene Qualitäten für vier unterschiedliche Bauvarianten von Einfamilienhäusern (Niedrigenergiehaus, Sonnenhaus, Passivhaus und Plusenergiehaus) in drei verschiedenen Bauproduktvarianten (Betonbauweise, Holzspanbetonbauweise und Ziegelbauweise) berechnet (33 Bauvarianten). Bei der Berechnung der umweltbezogenen Qualität der unterschiedlichen Bauvarianten wurde nach ÖNORM EN 15978 vorgegangen.

Die im Zuge der Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden durchzuführenden Schritte sind in Tabelle 3 angeführt.

Tabelle 3: Bewertungsprozess der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden

Prozess	Benötigte Informationen
Ermittlung des Zwecks der Bewertung	Ziel Vorgesehener Verwendungszweck
Festlegung des Bewertungsgegenstandes	Funktionales Äquivalent Betrachtungszeitraum Systemgrenzen Gebäudemodell – physikalische Eigenschaften
Szenarien für den Gebäudelebenszyklus	Gebäudemodell – zeitabhängige Eigenschaften Lebenszyklusphasen Szenarien für jede Lebenszyklusphase und Vorteile und / oder Vorteile jenseits der Systemgrenze
Quantifizierung des Gebäudes und seines Lebenszyklus	Nettomenge Bruttomenge Datentypen
Auswahl der Umweltdaten und anderer Informationen	Verwendung von EPD Verwendung anderer Informationen Datenqualität Konsistenz
Berechnung der Umweltindikatoren	Umweltaspekte und -auswirkungen Berechnungsmethoden Aggregation
Bericht und Kommunikation	Allgemeine Informationen Bewertungsergebnis Datenquellen
Überprüfung	Überprüfung
Abschluss der Bewertung	

(in Anlehnung an ÖNORM EN 15978)

3.1 Bewertungszweck

Eine Bestimmung des Bewertungszwecks der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden wird gemäß ÖNORM EN 15978 durch Angabe folgender Kriterien festgelegt:

- Zieldefinition
- Anwendungsbereich
- Vorgesehener Verwendungszweck

Im gegenständlichen Forschungsprojekt ist das Bewertungsziel die Quantifizierung der umweltbezogenen Qualitäten der verschiedenen Bauvarianten durch Erfassen und Zusammenfassen der Umweltinformationen. Für die Berechnung der umweltbezogenen Qualität der Bauvarianten hinsichtlich Umweltwirkungen und Umweltaspekte ist es notwendig, den Verwendungszweck und den Anwendungsbereich vorab zu definieren. Eine Repräsentation des Anwendungsbereichs der Bewertung erfolgt durch die berücksichtigten Punkte unter den Kapiteln 3.2 bis 3.8 nach ÖNORM EN 15978. Als Verwendungszweck wird der Vergleich verschiedener Gebäudevarianten in Hinsicht auf ihre umweltbezogene Qualität festgelegt. Sämtliche Konventionen und Definitionen wurden durch das Projektkonsortium abgestimmt und festgesetzt.

3.2 Festlegung des Bewertungsgegenstandes

Bewertungsgegenstand sind die Gebäudevarianten einschließlich ihrer Gründung über den Verlauf des gesamten Lebenszyklusses. Da keine relative Veränderung der Gebäudeeigenschaften durch die Außenanlagen gegeben ist, wurde vom Konsortium festgelegt, dass diese nicht mitberücksichtigt werden. Folgende Schritte sind bei der Festlegung des Bewertungsgegenstandes nach ÖNORM EN 15978 zu untersuchen:

- Funktionales Äquivalent
- Betrachtungszeitraum
- Systemgrenze
- Angabe der technischen Merkmale des Gebäudemodells

Funktionales Äquivalent

Das funktionale Äquivalent beschreibt die geforderten technischen Eigenschaften sowie die Funktionen eines Gebäudes. Dies dient dazu, eine einheitliche und vergleichbare Bewertungsgrundlage als Basis für Vergleiche zu schaffen.

Durch das Projektkonsortium wurden folgende Parameter nach ÖNORM EN 15978 für das funktionale Äquivalent festgelegt:

- Gebäudetyp: Einfamilienhaus
- Gebäudenutzung: Wohnzwecke
- Nutzungsdauer: 100 Jahre

Die technischen Anforderungen an die Energiestandard-Varianten (Niedrigenergiehaus, Sonnenhaus, Passivhaus und Plusenergiehaus) wurden durch das Projektkonsortium gesondert festgelegt. Aus diesen Rahmenbedingungen wird eine zu betrachtende Bezugseinheit in Quadratmeter Nettoräumfläche (NRF nach ÖNORM B 1800) abgeleitet.

3.3 Betrachtungszeitraum

Grundlage für eine Berechnung der umweltbezogenen Qualität eines Gebäudes bildet der Betrachtungszeitraum, dieser ist laut ÖNORM EN 15978 mit der geforderten Nutzungsdauer des Gebäudes anzusetzen. Eine Abweichung des Betrachtungszeitraums von der Nutzungsdauer muss explizit angegeben und begründet werden.

Vom Projektkonsortium wurde der Betrachtungszeitraum für dieses konkrete Forschungsprojekt mit der unter dem Punkt **Funktionales Äquivalent** festgelegten Nutzungsdauer gleichgesetzt (100 Jahre).

Die Phasen der Herstellung (A1-A3), der Errichtung (A4-A5) sowie der Entsorgung (C1-C4) (siehe Tabelle 4) sind für eine Berechnung der umweltbezogenen Qualität vom Betrachtungszeitraum unabhängig. Durch eine Erhöhung bzw. Abminderung des Betrachtungszeitraums bezüglich der im funktionalen Äquivalent festgelegten Nutzungsdauer ist eine Anpassung der Werte für die berechneten Auswirkungen des Moduls der Nutzungsphase (B1-B7) durchzuführen.

3.4 Systemgrenze

Durch die Systemgrenze erfolgt eine Bestimmung der Prozesse, welche gemäß ÖNORM EN 15978 für den Bewertungsgegenstand zu berücksichtigen sind.

Da es sich beim vorliegenden Forschungsprojekt um neue Gebäude handelt, ist grundsätzlich eine Berechnung der umweltbezogenen Qualität des gesamten in Tabelle 2 dargestellten Lebenszyklus durchzuführen. Gegenstand der Bewertung sind die unterschiedlichen Gebäudevarianten. Eine Betrachtung der umweltbezogenen Qualität ist nach ÖNORM EN 15978 für sämtliche Prozesse, die zur Gebäudeerrichtung und der Aufrechterhaltung der Funktionen der einzelnen Gebäudevarianten notwendig sind, durchzuführen.

Sämtliche über den Verlauf des Lebenszyklus auftretenden Prozesse, welche die umweltbezogene Qualität der Gebäudevarianten beeinflussen, sind nach ÖNORM EN 15978 jenem Modul zuzuordnen, in dem sie auftreten. Eine Abdeckung der Auswirkungen auf die umweltbezogene Qualität im Verlauf des Lebenszyklus der Gebäudevarianten erfolgt dabei durch die Module A1 – C4. Vorteile hinsichtlich der umweltbezogenen Qualität, welche durch das Modul D geliefert werden, sind nicht Teil der Bewertung, da sich das Modul D außerhalb des Lebenszyklus befindet.

Für das konkrete Forschungsprojekt, wurde für die in Tabelle 4 markierten Module eine Bewertung der umweltbezogenen Qualitäten durchgeführt.

Tabelle 4: Darstellung der einzelnen Module für die unterschiedlichen Lebenszyklusphasen eines Gebäudes

Informationen zur Gebäudebeurteilung über den Lebenszyklus																
Angaben zum Lebenszyklus des Gebäudes															Ergänzende Informationen	
A1 - A3			A4 - A5		B1 - B7							C1 - C4			D	
Herstellungsphase			Errichtungsphase		Nutzungsphase							Entsorgungsphase			Vorteile und Belastungen außerhalb des Gebäudelebenszyklus	
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3		C4
Rohstoffbeschaffung	Transport	Produktion	Transport	Errichtung / Einbau	Nutzung	Instandhaltung	Instandsetzung	Austausch	Modernisierung	Energieverbrauch im Betrieb	Wasserverbrauch im Betrieb	Abriss / Rückbau	Transport	Abfallbehandlung	Beseitigung	Angaben zu Wiederverwertung, Rückgewinnung und Recycling
X	X	X						X						X	X	

(Quelle: ÖNORM EN 15978)

3.4.1 Herstellungsphase (Module A1-A3)

Die Module A1-A3 decken sämtliche Prozesse, Materialien und Dienstleistungen (vom Ressourcenabbau bis zum Verlassen vom Werksgelände), welche für die Errichtung der Gebäude notwendig sind ab. Eine Regelung der Berechnung der umweltbezogenen Qualität der unterschiedlichen Materialien ist in ÖNORM EN 15804 definiert. Folgende Prozesse und Schritte sind in der Herstellungsphase zu betrachten:

- A1 Rohstoffbeschaffung
- A2 Transport
- A3 Produktion

Rohstoffbeschaffung (Modul A1)

Unter der Rohstoffbeschaffung sind sämtliche für die Rohstoffgewinnung, die Verarbeitung und die darin enthaltenen Verarbeitungsprozesse von Sekundärstoffen inbegriffen.

Transport (Modul A2)

Der Transport zur Produktionsstätte.

Produktion (Modul A3)

Die Produktion beinhaltet die Summe aller für die Herstellung eines Produktes notwendigen Prozesse.

3.4.2 Errichtungsphase (Module A4-A5)

In der Errichtungsphase sind sämtliche Prozesse im Zusammenhang mit den unterschiedlichen Bauprodukten vom Werkstor bis zur endgültigen Fertigstellung der Gebäude inbegriffen. Folgende Prozesse und Schritte sind in der Errichtungsphase zu betrachten:

- A4 Transport
- A5 Errichtung / Einbau

Transport (Modul A4)

Modul A4 beinhaltet den Transport der fertigen Produkte vom Werk auf die Baustelle. Darin enthalten sind die Summe aller Transporte, Zwischenlagerungen und die Verteilung der Produkte. Außerdem erfolgt eine Berücksichtigung aller Transporte von Baugeräte von und zur Baustelle.

Errichtung / Einbau (Modul A5)

Unter dem Modul Errichtung und Einbau für den Bewertungsgegenstand sind alle am Standort notwendigen Prozesse und Schritte für die Erstellung eines Bauwerks zusammenzufassen (z.B. Produktherstellung und Umwandlung vor Ort, Erdarbeiten, Lagerung von Produkten, Einbau von Produkten, etc.)

3.4.3 Nutzungsphase (Module B1-B7)

Unter der Nutzungsphase erfolgt eine Betrachtung der umweltbezogenen Qualität im Zeitraum der endgültigen Fertigstellung eines Gebäudes bis hin zum Rückbau oder dem Abriss des Bauwerks. Folgende Prozesse und Schritte sind in der Nutzungsphase zu betrachten:

- B1 Nutzung
- B2 Instandhaltung
- B3 Instandsetzung
- B4 Austausch
- B5 Modernisierung
- B6 Energieverbrauch im Betrieb
- B7 Wasserverbrauch im Betrieb

Nutzung (Modul B1)

Modul B1 beinhaltet die Auswirkungen und Aspekte, welche durch eine übliche Nutzung der Gebäudekomponenten entstehen.

Instandhaltung (Modul B2)

Neben den Prozessen für die Gebäudereinigung sind auch jene Prozesse in der Systemgrenze des Moduls B2 enthalten, welche für die Aufrechterhaltung der Gebäudesubstanz in funktionaler und technischer Qualität unumgänglich sind. Darin inkludiert ist der Transport aller notwendigen Komponenten und Produkte für die Instandhaltung.

Instandsetzung (Modul B3)

Modul B3 umfasst alle Maßnahmen und Prozesse (Instandsetzung, Reparatur), die für die Instandsetzung der Gebäudekomponenten über die gesamte Nutzungsphase notwendig sind.

Austausch (Modul B4)

Folgende Punkte müssen bei der Modellbildung für den Austausch von Bauprodukten und Gebäudedienstleistungen berücksichtigt werden:

- Herstellung der Austauschprodukte und Hilfsprodukte
- Transport der Austauschprodukte und Hilfsprodukte einschließlich der Produktionsauswirkungen und -aspekte aller während des Transports auftretenden Materialverluste
- den Prozess des Austauschs der betreffenden Gebäudekomponenten und Zusatzprodukte
- Abfallmanagement für die ausgetauschten Produkte und Hilfsprodukte
- Entsorgungsphase der ausgetauschten Produkte und Hilfsprodukte

Modernisierung (Modul B5)

Die Grenze der Modernisierung beinhaltet neben der Berücksichtigung der Auswirkungen auf die umweltbezogene Qualität der Herstellung neuer Gebäudekomponenten, ebenfalls den Transport und den Einbau von diesen, sowie die Entsorgung der zu ersetzenden Materialien und Produkte.

Energieverbrauch im Betrieb (Modul B6)

Der Energieverbrauch im Betrieb umfasst die Summe aller Energien, die durch die technischen Systeme für den Gebäudebetrieb benötigt werden (z.B. Heizung, Klimaanlage, Beleuchtung, etc.).

Wasserverbrauch im Betrieb (Modul B7)

Für das Modul B7 ist der gesamte Wasserbedarf während des gesamten Gebäudebetriebs inklusive der Wasserbehandlung sowie die damit verbundenen Umweltauswirkungen zu betrachten (Betrachtungszeitraum: Gebäudeabnahme bis Gebäuderückbau).

3.4.4 Entsorgungsphase (Module C1-C4)

Beginn der Entsorgungsphase ist jener Zeitpunkt, an dem ein Gebäude stillgelegt wird und für keine weitere Nutzung vorgesehen ist. Der anschließende Prozess des Rückbaus bzw. des Gebäudeabrisses kann aufgrund unterschiedlicher Szenarien im Umgang mit den Restmassen der Gebäudevariante verschiedene Ergebnisse für die umweltbezogenen Qualitäten liefern. Folgende Szenarien sind unter dem Aspekt einer technischen und wirtschaftlichen sinnvollen Umsetzung für den Umgang mit Abbruchmaterial zu betrachten:

- Recycling
- Wiederverwendung
- Weiterverwertung
- Entsorgung

Wenn sämtliche Bauteile bzw. Komponenten eines Gebäudes vom Standort beseitigt wurden und dieser für eine weitere Nutzung bereit gemacht wurde, ist nach ÖNORM EN 15978 davon auszugehen, dass das Gebäude sein Lebensende erreicht hat. Folgende Prozesse und Schritte sind in der Entsorgungsphase zu betrachten:

- C1 Rückbau / Abriss
- C2 Transport
- C3 Abfallbehandlung
- C4 Beseitigung

Rückbau / Abriss (Modul C1)

Der Rückbau umfasst alle Arbeitsgänge, die notwendig sind, um ein bestehendes außer Betrieb genommenes Bauwerk abzureißen / rückzubauen bzw. zu zerlegen.

Transport (Modul C2)

Modul C2 beinhaltet sämtliche Auswirkungen aufgrund von Transporten, welche für die Beseitigung von Produkten notwendig sind. Darin inbegriffen sind auch die Transporte zu möglichen Zwischenlagern und Verarbeitungsstätten.

Abfallbehandlung zwecks Wiederverwendung, Rückgewinnung oder Recycling (Modul C3)

Das Modul C3 beinhaltet sämtliche Vorgänge der Abfallbehandlung, von der Sammlung der Materialien aus dem Rückbau, bis hin zur Wiederverwendung, dem Recycling sowie der Energierückgewinnung durch eine thermische Verwertung. Für die Abfallbehandlung ist ein entsprechendes Szenario für die grundlegenden Stoffströme zu modellieren und in der Berechnung der umweltbezogenen Qualität der Gebäude miteinzubeziehen.

Beseitigung (Modul C4)

In Modul C4 erfolgt eine Quantifizierung der umweltbezogenen Qualitäten aufgrund der endgültigen Beseitigung der anfallenden Materialien aus dem Rückbau.

3.4.5 Ergänzende Informationen (Modul D)

In Modul D erfolgt eine Quantifizierung der Vorteile der umweltbezogenen Qualitäten, welche sich aus einer möglichen Wiederverwertung bzw. aus einer thermischen Verwertung von Bauprodukten ergeben. Dieses Modul befindet sich außerhalb des Lebenszyklus von Gebäuden und Bauwerken und ist somit gesondert anzuführen.

3.5 Gebäudemodell

Die Entwicklung des Gebäudemodells dient als Grundlage für die Quantifizierung von Stoff- und Energieströmen und ist gemäß ÖNORM EN 15978 in einer strukturierten Form aufzubereiten. Um eine einfachere Bearbeitung im Zuge des Quantifizierungsprozesses der verschiedenen Gebäudevarianten gewährleisten zu können, ist folgende Unterteilung der Gebäude durchzuführen:

- Unterteilung der Gebäude in seine Bestandteile
 - Elemente
 - Bauwerksteile
 - Bauprodukte
 - Baustoffe
- Unterteilung nach Prozessen (z.B. Herstellung, Austausch, etc.)

- Zuteilung der für den Gebäudebetrieb notwendigen Energien

Im vorliegenden Forschungsprojekt erfolgt eine Beschreibung und Modellbildung, für die unterschiedlichen Gebäudevarianten anhand der vom Projektkonsortium zur Verfügung gestellten Unterlagen:

- Pläne (erstellt durch Konsortialpartner; Stand 10.12.2012)
- Leistungsverzeichnisse (PORR, Stand 27.08.2012)
- Energieausweise (erstellt durch Konsortialpartner; Stand 18.02.2013)

Ergänzend wurden von der TU Graz diverse Hilfsmittel entwickelt, um wesentliche Eingangsdaten für die Berechnung der umweltbezogenen Qualität zu erheben und zu dokumentieren bzw. im Projektkonsortium abzustimmen:

- Excel-Tabelle (erstellt durch TU Graz; Stand 27.05.2013)
- Excel-Tabelle für Recycling-Abfallbeseitigungs-Quote und Nutzungsdauern für sämtliche Baumaterialien und Bauprodukte (erstellt durch TU Graz; Stand 20.06.2013). Zusammenfassung und etwaige Anpassung der einzelnen Daten durch TU Graz. Abstimmung und Bestätigung der Daten durch das Konsortium.

Aufbauend auf den vom Konsortium zur Verfügung gestellten Unterlagen erfolgt die Zuordnung der Baumaterialien und Bauprodukte nach den zuvor beschriebenen Unterteilungen.

3.6 Festlegen und Entwickeln von Szenarien über den Gebäudelebenszyklus

Um eine umfangreiche und vollständige Beschreibung des Bewertungsgegenstandes gewährleisten zu können, ist es unumgänglich, neben der physikalischen Beschreibung der Gebäudevarianten auch zeitabhängige Eigenschaften über den gesamten Gebäudelebenszyklus zu berücksichtigen (Betrachtungszeitraum, Nutzungsdauern, Austauschraten, etc.). Aus dieser Anforderung heraus ergibt sich die Notwendigkeit der Definition und Entwicklung entsprechender Szenarien, die auf die dementsprechenden Modelle für Errichtungs-, Nutzungs-, und Entsorgungsphase des zu betrachtenden Gegenstands der Bewertung anwendbar sind (Module A4 bis C4). Sämtliche Szenarien, die für eine Bewertung nach ÖNORM EN 15978 angewandt werden, sind zu beschreiben und zu dokumentieren. Dabei sind alle Annahmen, Informations- und Datenanforderungen, sowie die Grenzen der Anwendbarkeit dieser im Zusammenhang mit dem Gebäudelebenszyklus klar zu definieren.

Für das gegenständliche Forschungsprojekt wurden sämtliche Sachbilanzdaten, für die Herstellungsphase der in den verschiedenen Gebäudevarianten verwendeten Bauprodukte, anhand von Datensätzen für Bauprodukte (Datenbank ecoinvent V2.2) festgelegt. Auf Anfrage sind sämtliche Daten über die Projektleitung zugänglich und einsehbar.

3.6.1 Zeitbezogene Eigenschaften und dazugehörige Szenarien

Die zeitbezogenen Eigenschaften sowie die zugehörigen Szenarien beinhalten Teilbereiche der Instandhaltung, dem Austausch, der Reinigung, sowie anderer periodischer Arbeitsgänge.

3.6.2 Szenarien für die Herstellungsphase (Module A1-A3)

Eine Definition bezüglich der Umweltinformationen für die Herstellungsphase von Bauprodukten ist in der ÖNORM EN 15804 eindeutig beschrieben. Falls für Bauprodukte keine Umweltproduktdeklaration bzw. kein Datensatz vorhanden ist, so ist entsprechend ÖNORM EN 15804 eine Berechnung der umweltbezogenen Qualität anhand der enthaltenen Module durchzuführen.

Für das vorliegende Forschungsprojekt wurden sämtliche Sachbilanzdaten, für die Herstellungsphase der in den verschiedenen Gebäudevarianten verwendeten Bauprodukte, anhand von Datensätzen (Datenbank ecoinvent v2.2) festgelegt.

3.6.3 Szenarien für die Bauprozessphase (Module A4-A5)

Für das vorliegende Forschungsprojekt wurden die Module A4 und A5 aufgrund des vernachlässigbaren Anteils nicht berücksichtigt.

3.6.4 Szenarien für die Nutzungsphase (Module B1-B7)

Sämtliche Umweltauswirkungen infolge der Gebäudenutzung sind in maßgeblicher Form anhand von Szenarien für Gebäudebetrieb inklusive der technischen Systeme und den damit verbundenen Managementaktivitäten zu beschreiben. Bei der Entwicklung der Szenarien sind dabei die geltenden Bestimmungen und Richtlinien, sowie die vom Auftraggeber vorgegebenen Rahmenbedingungen einzuhalten.

Für das vorliegende Forschungsprojekt wurde eine Einschränkung für die Nutzungsphase auf das Modul B4 (bearbeitet von der TU Graz) und B6 (bearbeitet durch das IBO) beschlossen.

3.6.5 Szenarien für den Austausch (Modul B4)

In diesem Szenario sind folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Spezifische Anforderungen, welche durch den Auftraggeber vorgegeben werden
- Planung der Nutzungsdauer nach ISO 15686-1, -2, -7 und -8
- Anforderungen an die Bauprodukte nach ÖNORM EN 15804
- Angaben über die Struktur der Nutzung

Die geplante Nutzungsdauer des gegenständlichen Gebäudes wurde mit 100 Jahren festgelegt. Die Szenarien für den Austausch der Baumaterialien bzw. der Bauprodukte wurde anhand der Nutzungsdauerdaten, welche von den Konsortialpartner im Zuge einer Umfrage angegeben wurden, modelliert. Eine umfassende Liste der Nutzungsdauern für sämtliche Bauprodukte ist in Anhang 1 Kapitel 6 beigefügt.

3.6.6 Szenarien für die Entsorgungsphase (Module C1-C4)

Sämtliche im Verlauf der Entsorgungsphase angewandten Prozesse sind entsprechend der festgelegten Grenzen für die Entsorgungsphase zu beschreiben.

Im gegenständlichen Forschungsprojekt wurde die Betrachtung der Entsorgungsphase auf die Module C3 und C4 eingeschränkt.

3.6.7 Entwicklung von Szenarien für die Abfallbehandlung, die Wiederverwendung, das Recycling und die Energierückgewinnung (Modul C3)

In diesem Modul sind alle Abfallbehandlungsprozesse (Sortierung, Vorbereitung für Wiederverwendung, Recycling und Energierückgewinnung) von der Zerlegung des Gebäudes bis zu dem Zeitpunkt, an dem die Materialien und Produkte nicht mehr als Abfall gelten, zu beschreiben. Ebenfalls Teil dieses Moduls sind Abfälle, die durch die Prozesse der Abfallaufbereitung entstehen.

3.6.8 Szenarien für die Beseitigung (Modul C4)

In Modul C4 sind diejenigen Prozesse zu beschreiben, die vor der endgültigen Beseitigung bzw. für die Beseitigung selbst notwendig sind und in den Modulen C1 bis C3 nicht abgedeckt sind (Neutralisierung, Verbrennung mit und ohne Energienutzung, Deponierung, etc.).

Eine Festlegung der Recyclingquoten bzw. den Umgang mit den Produkten, welche durch einen Austausch oder einen Abbruch als Abfall anfallen, wurde im gegenständlichen Forschungsprojekt durch das Konsortium vorgegeben (siehe Anhang 1 Kapitel 5).

3.6.9 Szenarien für die Vorteile und Belastungen jenseits der Systemgrenze (Modul D)

Das Modul D beschreibt die Netto-Umweltvorteile oder Umweltbelastungen für Prozesse die außerhalb des Gebäudelebenszyklus entstehen. Daher wurde im gegenständlichen Forschungsprojekt eine Bewertung des Moduls D nicht durchgeführt.

3.7 Quantifizierung des Gebäudes und seines Lebenszyklus

Die Quantifizierung eines Gebäudes und der darin verwendeten Materialien und Produkte erfolgt auf Grundlage der Entwurfsbeschreibung für neue Gebäude bzw. der tatsächlichen Größen für bestehende Gebäude sowie der beschriebenen Szenarien für jedes Modul über den Lebenszyklus des Gebäudes.

3.7.1 Festlegung der Nettomenge

Die Nettomenge entspricht den Nettoeinheiten aller Produkte, Materialien, Komponenten und Elemente, aus denen ein Gebäude zusammengesetzt ist. Das bedeutet, dass eine Bewertung nur aufgrund der Menge an Einheiten erfolgt, die laut Entwurf im Gebäude verbaut werden (keine Berücksichtigung von Verlusten, etc.). Die Berechnung der umweltbezogenen Qualität wurde für die in Tabelle 5 gelisteten Bauteile durchgeführt.

Tabelle 5: Berücksichtigte Bauteile zur Bewertung der ökologischen Qualität

Vertikale Konstruktionen
Außenwände
Innenwände
Horizontale Konstruktionen
Fundamentplatte
Deckenkonstruktion
Bodenaufbauten
Mauerbank
Dach
Dachaufbau
Einbauteile
Fenster
Türen (innen + außen)
Fensterbänke (innen + außen)
Bleche
Kamin
Bodenbeläge (Fliesen, Parkett, etc...)
Brüstungen
Anbauteile außen
Terrassenkonstruktion Stahl inkl. Punktfundamente
Bodenbeläge
Bleche (Dachrinnen, etc.)

(Quelle: TU Graz)

3.7.2 Berücksichtigung der Bruttomenge

Die Bruttomenge beinhaltet eine Bewertung aller Materialien und Produkte, die zur Gebäudeerrichtung notwendig sind. Folgende Faktoren sind für eine korrekte Erhebung der Bruttomenge zu berücksichtigen:

- Verluste und Beschädigungen durch den Transport
- Verluste und Beschädigungen auf der Baustelle
- Verluste durch die normale Verarbeitung der Materialien und Produkte
- Verluste aufgrund von Maßbeziehungen zwischen Entwurf – und Produktmaßen
- Mindestmengen bei der Bestellung

Für die vorliegende Studie erfolgte unter Abstimmung mit dem Projektkonsortium eine Berechnung der umweltbezogenen Qualitäten für die Gebäudevarianten auf Grundlage der Nettomenge (keine Berücksichtigung von Bruttomengen) der verbauten Materialien und Produkte.

3.7.3 Tausch von Komponenten und Austauschhäufigkeit

Bei Komponenten, deren voraussichtliche Nutzungsdauer die geforderte Nutzungsdauer der Gebäude überschreitet, ist kein Austausch erforderlich. Für Komponenten, deren voraussichtliche Nutzungsdauer kürzer ist als die geforderte, ist eine Festlegung der Nutzungsdauern bzw. eine Modellierung der notwendigen Szenarien für den Austausch, die Instandsetzung und die Beseitigung der Materialien und Produkte notwendig. Die Berechnung der Häufigkeit für den Austausch von Komponenten, Materialien und Produkten, die im Bauwerk verbaut sind, erfolgt nach der Formel:

$$N_R(j) = E^*[\text{ReqSL} / (\text{ESL}(j)-1)]$$

Dabei ist:

$E^*[\text{ReqSL} / (\text{ESL}(j)-1)]$... Funktion für die Berechnung der Austauschraten
$\text{ESL}(j)$... Voraussichtliche Nutzungsdauer des Produkts
$N_R(j)$... Austauschhäufigkeit des Produkts
ReqSL	... Geforderte Nutzungsdauer des Gebäudes

Der Austausch für die Produkte ist als vollständiger Austausch durchzuführen. Dies bedeutet, dass die berechneten Austauschraten, in Abhängigkeit von der Restnutzungsdauer bezogen auf die geforderte Nutzungsdauer des Gebäudes, auf- bzw. abzurunden sind.

Im der gegenständlichen Studie wurden die Austauschraten für die verschiedenen Bauprodukte anhand der beschriebenen Formel berechnet.

3.7.4 Datentyp für die Bewertung

Die Qualität der Ergebnisse aus den Berechnungen der umweltbezogenen Qualitäten für den Bewertungsgegenstand hängen stark von Daten und Informationen, die der Bewertung zugrunde gelegt sind ab.

Die Wahl eines geeigneten Datentyps erfolgt nach diesen Kriterien:

- Vorgesehener Verwendungszweck bzw. der Anwendungsbereich der Bewertung
- Zeitpunkt an dem eine Bewertung des Bewertungsgegenstandes erfolgt (Entwurfsphase, Planungsphase, Bauphase, etc.)
- Qualität und Verfügbarkeit von Informationen zum Bewertungszeitpunkt
- Einfluss der Daten auf die Gesamtbewertung

Die Bewertung eines Bewertungsgegenstandes ist anhand von Informationen und Daten durchzuführen, die eine zum Bewertungszeitpunkt möglichst genaue Beurteilung repräsentieren.

Für die in dieser Studie zu untersuchenden Gebäudevarianten erfolgte die Berechnung anhand von Datensätzen der ecoinvent v2.2 Datenbank (Stand 25.10.2013). Bei dieser Datenbank handelt es sich um eine Sammlung von Datensätzen mit der Angabe von umweltbezogenen Qualitäten, die in transparenter und nachvollziehbarer Weise aufbereitet sind.

3.7.5 Datenqualität und Vollständigkeit

Bei der Bewertung der Gebäudevarianten ist bei der Berechnung der umweltbezogenen Qualität für Bauprodukte nach ÖNORM EN 15804 vorzugehen. Die im Zusammenhang mit dem Bewertungsgegenstand verwendeten Daten und Informationen für die Quantifizierung der umweltbezogenen Qualität sind vollständig zu dokumentieren.

Seitens der Datenbank bestehen folgende Anforderungen an die Datenqualität:

- Aktualität, Validierung max. 10 Jahre zurück
- Mittelung der Ergebnisse der Daten möglichst auf Basis eines Bezugszeitraumes von einem Jahr
- Berücksichtigungszeitraum für Emissionen von mind. 100 Jahren
- Überprüfung der Daten auf Plausibilität und auf Übereinstimmung mit der ÖNORM EN 15804

- Vollständigkeit der verwendeten Daten und Informationen

Im vorliegenden Projekt wurde eine einheitliche Datengrundlage unter der ausschließlichen Anwendung der ecoinvent V2.2 Ökobilanz-Datenbank für die Bilanzierung der Massivbauweisen sowie der Haustechnik geschaffen. Die in dieser Datenbank enthaltenen Informationen weisen aufgrund genauer Vorgaben für die Erhebung und Berechnung der umweltbezogenen Qualität von Bauprodukten eine hohe, vollständige und konsistente Qualität auf.

3.7.6 Quantifizierung Energie- und Wassernutzung im Betrieb

Eine Quantifizierung der umweltbezogenen Qualität für die Betriebsenergie und die betriebliche Frischwassernutzung erfolgt durch die Berechnung eines direkten Ergebnisses über den Verlauf der Nutzungsphase. Eine Auswertung erfolgt anhand von Umweltdeklarationen der Betreiber oder auf Grundlage von Ökobilanz-Datenbanken.

3.8 Berechnung der Umweltindikatoren

3.8.1 Umweltauswirkungen und -aspekte sowie dazugehörige Indikatoren

In diesem Kapitel sind die verwendeten Indikatoren, die dem vorliegenden Forschungsprojekt für die Quantifizierung der umweltbezogenen Qualität der Gebäudevarianten über ihren Lebenszyklus zugrunde gelegt wurden, dokumentiert.

Indikatoren zur Beschreibung der umweltbezogenen Qualität

Die Berechnung der Umweltindikatoren laut Tabelle 6 für die unterschiedlichen Bauprodukte erfolgte durch die Charakterisierung der LCIA Daten aus EcoInvent V2.2 nach der CML-Methode 2001¹.

Tabelle 6: Indikatoren zur Beschreibung der Umweltwirkungen

Kürzel	Beschreibung	Einheit
AP	Potenzial in Bezug auf die Versauerung von Wasser und Boden	[kg (SO ₂) ²⁻ äquiv./m ² a]
EP	Eutrophierungspotenzial	[kg (PO ₄) ³⁻ äquiv./m ² a]
GWP	Treibhauspotenzial	[kg CO ₂ äquiv./m ² a]
ODP	Potenzial in Bezug auf die Zerstörung der stratosphärischen Ozonschicht	[kg FCKW 11 äquiv./m ² a]
POCP	Potenzial zur Bildung von bodennahem Ozon, ausgedrückt als fotochemisches Oxidans	[kg Ethen äquiv./m ² a]

(Quelle: ÖNORM EN 15978)

¹ CML – Methode 2001: Methode zur Charakterisierung von Umweltwirkungen

Indikatoren zur Beschreibung der Verwendung von Ressourcen

Die Indikatoren in Tabelle 7 beschreiben die Verwendung von erneuerbarer und nicht erneuerbarer Primärenergie und werden auf Grundlage der angegebenen Inputs zufolge der LCI berechnet. Die für die Auswertung der ökologischen Qualität zugrunde gelegten Indikatoren wurden vom Konsortium festgelegt.

Tabelle 7: Indikatoren zur Beschreibung der Verwendung von Ressourcen

Kürzel	Beschreibung	Einheit
CED non. r	Verwendung von nicht erneuerbaren Primärenergieressourcen	[MJ / m ² a]
CED r.	Verwendung von erneuerbaren Primärenergieressourcen	[MJ / m ² a]

(Quelle: ÖNORM EN 15978)

3.8.2 Berechnungsmethode

Die Ergebnisse aus der Charakterisierung wurden für die einzelnen Gebäude sowie für die unterschiedlichen Module (A1-C4) zusammengefasst und in den Einzelergebnisblättern dargestellt (siehe Anhang 2).

4 Detaillierte Methodik der Bilanzierung LCA Holzgebäude

Der Lebenszyklus des Gebäudes (ohne Haustechnik) in den Holzbauvarianten wurde entsprechend der EN 15978 „Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode“ analysiert. Zusätzlich wurde das Modul D (ergänzende Informationen außerhalb des Gebäudezyklus) berechnet. Tabelle 8 gibt einen Überblick über die Lebenszyklusphasen laut EN 15978. Die berücksichtigten Phasen wurden farblich markiert.

Tabelle 8: Lebenszyklusphasen laut EN 15978

Informationen zur Gebäudebeurteilung																
Angaben zum Lebenszyklus des Gebäudes													Ergänzende Informationen außerhalb des Lebenszyklus			
A 1-3 Herstellungsphase			A 4-5 Errichtungsphase		B 1-7 Nutzungsphase							C 1-4 Phase am Ende des Lebenszyklus		D Vorteile und Belastungen außerhalb der Systemgrenzen		
A1 Rohstoffbeschaffung	A2 Transport	A3 Produktion	A4 Transport	A5 Errichtung/Einbau	B1 Nutzung	B2 Instandhaltung	B3 Instandsetzung	B4 Austausch	B5 Modernisierung	B6 Energieverbrauch im Betrieb	B7 Wasserverbrauch	C1 Rückbau/Abriss	C2 Transport	C3 Abfallverwertung	C4 Entsorgung	Potenzial für Wiederverwertung, Rückgewinnung und Recycling

(Quelle: ÖNORM EN 15978)

Für die Variante Holzrahmenbauweise im Niedrigenergiehausstandard wurden zusätzlich die Phasen A4 (Transporte) und A5 (Errichtung/Einbau) berücksichtigt (Zusatzvariante mit erweitertem Lebenszyklus).

Für die Gebäudelebensdauer wurden 100 Jahre angenommen. Die Bilanzierung der Haustechnikvarianten wurde separat vorgenommen (siehe Kapitel 3.1 im Hauptteil des Ergebnisberichtes und Kapitel 2 im Berichtsteil 2 Anhang) und die Ergebnisse mit jenen der Baukonstruktion zusammengeführt.

In den folgenden Unterkapiteln sind die Annahmen beschrieben, die der Analyse der berücksichtigten Lebenszyklusphasen der Gebäudehülle aller Holzgebäude zugrunde liegen.

4.1.1 A1-3 Herstellungsphase

Diese Phase beinhaltet aggregierte Informationen zur Produktion aller Baumaterialien „von der Wiege bis zum Werkstor“ (cradle to gate) gemäß ÖNORM EN 15804. Das bedeutet sie beinhaltet alle Prozesse von der Extraktion der Rohstoffe bis zur Herstellung des Produkts.

Die Herstellung folgender Bauteile wurde in den Phasen A1-A3 bilanziert:

- Außenwand
- Außenwand Keller
- Dach und Dachüberstand (inkl. Verblechungen)
- Bodenplatte
- Zwischendecken
- Holzunterzug, Mauerbank, Pfette
- Innenwände (tragend und nicht tragend)
- Fenster und Außentüre (inkl. Fensterbänken und Leibungen)
- Innentüren
- Bodenaufbau (inkl. Parkett bzw. Fliesen)
- Vorsatzschalen
- Holzstiege und Kellerstiege
- Fugendichtband
- Balkon
- Terrasse

Alle Bauteile – mit Ausnahme der Baustoffe Brettsperrholz und Zellulosedämmung – setzen sich aus Baustoff-Modulen der Software EcoSoft zusammen. Für Brettsperrholz und Zellulosedämmung waren keine Baustoff-Module in EcoSoft verfügbar. Es wurde daher auf Datensätze zurückgegriffen, die von der HFA im Zuge des Forschungsprojektes €CO2/EcoTimber von verschiedenen österreichischen Herstellern erhoben wurden, und Output-gewichtete Durchschnittswerte zugrunde gelegt.

4.1.2 A4 Transporte zur Baustelle

In dieser Phase sind die Transporte vom Hersteller der Baumaterialien zur Baustelle berücksichtigt. Angenommen wurde vereinfachend ein Transport für alle Materialien mit einem 28 t LKW der Klasse EURO 3. Die Transportweiten für verschiedene Kategorien von Baumaterialien entsprechen repräsentativen Transportdistanzen in Österreich und sind in Tabelle 9 angeführt.

Tabelle 9: Angenommene Transportweiten für verschiedene Kategorien von Baumaterialien

Material	Transportentfernung [km]
Erdaushub	20
Beton	30
Stahlbeton	50
Mauerziegel (Einhängeziegel, Schallschutzfüllziegel etc.)	100
Kies, Sand, Splitt	50
Mörtel und Putze	100
Schnittholz	100
MDF- und OSB-Platten	200
Fenster und Türen	250
Dämmungen, Gipskartonplatten, Abdichtungen, Bodenbeläge, Holzwerkstoffe, Metalle	300

Die Phase A4 wurde nur für die Zusatzvariante mit erweitertem Lebenszyklus berücksichtigt (Holzrahmenbauweise für Niedrigenergiehausstandard).

4.1.3 A5 Errichtung des Gebäudes

In dieser Phase wurden die Aushubarbeiten auf der Baustelle, die Entsorgung des Aushubmaterials, sowie die Verluste der einzelnen Baumaterialien bei der Errichtung gemäß Tabelle 10 berücksichtigt. Der Energiebedarf für Geräte wurde ebenso wie Personentransporte von und zur Baustelle nicht berücksichtigt.

Tabelle 10: Materialverluste bei der Errichtung von Gebäuden

Gruppe	Material	Verluste [%]
Dämmstoff	Glaswolle MW-W Dämmfilz und Glaswolle Trittschalldämmung, Steinwolle MW-W und MW-WF 60	8,3
	Perlite expandiert und Granulat zementgebunden <125kg/m ³	5
	Polystyrol expandiert (EPS) W20 und W25 Dämmplatten und Polystyrol extrudiert CO ₂ -geschäumt (XPS)	12,5
	Perlite expandiert und Polystyrol expandiert Granulat zementgebunden <125kg/m ³	5
Abdichtung	Alu-Bitumendichtungsbahn, Dampfdruck-Ausgleichsschicht, Flüssige Folie, Gummigranulatmatte, PE Dichtungsbahn, Polyethylenbahn, Polymerbitumen-Dichtungsbahn, Vlies (PP)	5
	Baupapier horizontal und Dampfbremse PE	10
Bauplatten	Gipskartonplatte	14,2
	MDF-Platte für Bauwesen und Holzwoleleichtbauplatte zementgebunden	10,6
Putze	Gipsspachtel	5
	Kalkzementputz und Silikatputz	7,5
	Putzgrund (Silikat)	7
Bodenbeläge	Fliesen+Kleber	9,5
	Massivparkett	6,7
	Parkettkleber	5
Beton	Armierungsstahl	4
	Aufbeton, Estrichbeton, Normalbeton	5,7

Mauersteine	Hochlochziegel	6
	Mörtel	13
	Porenbeton	5,7
Schüttungen	Kies	1
	Splittschüttung (zementgebunden)	5
Holz	Brettspertholz	0
	Schnittholz	7
Metallkonstr.	Stahlblech, verzinkt	5
Fenster	Holzfenster, 3-Scheiben-Thermoverglasung (Ar) / m ²	0
Hilfsmaterial	Dübel kompl. 38cm, Federschiene, Glasfaserarmierung, Klebespachtel, Stahl niedriglegiert	5

(Quelle: nach Takano, 2011)

Die Phase A5 wurde nur für die Zusatzvariante mit erweitertem Lebenszyklus berücksichtigt (Holzrahmenbauweise für Niedrigenergiehausstandard).

4.1.4 B4 Materialtausch in der Nutzungsphase

Diese Phase enthält die Herstellung der ausgetauschten Materialien „von der Wiege bis zum Werkstor“ (cradle to gate) sowie die Entsorgungsprozesse der ausgetauschten Materialien. Für die Entsorgung gelten die unter C2-C4 angeführten Annahmen.

Die Nutzungsdauer der Materialien und Bauteile hängt von den Materialeigenschaften, der Funktion der Produkte sowie von ökologischen und sozioökonomischen Faktoren ab. Im Rahmen dieses Projektes wurden die Austauschraten hauptsächlich anhand von vereinfachenden Szenarien definiert und nur begrenzt Fragen des Geschmacks und Zeitgeistes bezüglich Wohnraumdesigns sowie technische Gesichtspunkte berücksichtigt.

Für die Holzbauvarianten wurden folgende Austauschraten definiert:

- Mechanisch beanspruchte und der Witterung ausgesetzte Bauteile sowie Bauteilschichten, die im Zuge des Austauschs einer solchen Oberfläche ebenfalls erneuert werden müssen (z.B. Fenster, Fassade, Fußböden, Oberflächenbeschichtungen, Klebeschichten): ND 25 Jahre. Sie werden während der Gebäudenutzungsdauer von 100 Jahren dreimal ausgetauscht.
- Dacheindeckung und Materialien, die weder eine tragende Funktion erfüllen, noch einer direkten äußeren Beanspruchung ausgesetzt sind (z.B. Innenwände) sowie Bauteilschichten, die im Zuge des Austausches dieser Bauteile ebenfalls erneuert werden müssen: ND 50 Jahre. Sie werden während der Gebäudenutzungsdauer von 100 Jahren einmal ausgetauscht.
- Statisch tragende Bauteile sowie Trenn- bzw. Innenwände, von denen nicht anzunehmen ist, dass sie im Laufe der Lebensdauer des Gebäudes ausgetauscht werden (z.B. Außenwände, Kellerinnenwände und -stiegen): ND 100 Jahre.

4.1.5 B6 Energieeinsatz während der Gebäudenutzung

Die Berechnung des Energieaufwands für die Gebäudekonditionierung (Heizung und Lüftung) sowie Warmwasserbereitstellung basiert auf der Methodik des österreichischen

Energieausweises und wurde im Rahmen der Bilanzierung der Haustechnik untersucht. Die Methodik und die Ergebnisse werden im Bericht gesondert beschrieben.

4.1.6 C2-C4 Phasen am Ende des Lebenszyklus

Für die Entsorgungsprozesse stehen EcoSoft-Module basierend auf (Mötzl und Pladerer, 2010) zur Verfügung. Die Module enthalten Aufwände für Transporte (C2), Manipulation auf der Deponie (C4) sowie in Sortieranlagen und Abfallverbrennungsprozesse (C3). Die Aufwände für Rückbau/Abriss (C1) wurden vernachlässigt. Die verwendeten Entsorgungsszenarien für verschiedene Baustoffe sind in Tabelle 11 angeführt.

Tabelle 11: Entsorgungsszenarien für wichtige Baustoffe (basierend auf EcoSoft-Entsorgungsmodulen)

Baustoff/Bauteil	Entsorgungsszenario
Ziegel	Recycling, über Sortieranlage
Beton	Recycling, über Sortieranlage
Beton bewehrt	Recycling, über Sortieranlage
Brettsperrholz	Müllverbrennungsanlage
Schnittholz	Müllverbrennungsanlage
Bitumenbahnen, Dichtungsbahnen	Müllverbrennungsanlage
Kunststofffenster Rahmen	Müllverbrennungsanlage
Glas	Baurestmasse deponiert
Polystyrol	Müllverbrennungsanlage
Polyethylen	Müllverbrennungsanlage
Putze, Mörtel, Spachtel, Kiesschüttungen, etc.	Baurestmasse deponiert
Gipskartonplatten	Baurestmasse deponiert
Kies	Recycling
Metall (z.B. Aluminiumbestandteile, Verblechungen)	Recycling
Mineralwolle	Baurestmasse deponiert
Zellulosedämmung	Müllverbrennungsanlage
Sonstige Baustoffe	Baurestmasse deponiert

4.1.7 D Ergänzende Informationen außerhalb des Lebenszyklus – Vorteile und Belastungen

Für Modul D wurde angenommen, dass Holzbaustoffe und Zellulosedämmung in einer Müllverbrennungsanlage für Industrieabfälle mit einem Wirkungsgrad (für Wärme) von 90 % verbrannt werden. Dies entspricht neben der Wiederverwendung und stofflichen Verwertung einem gängigen Entsorgungsszenario für Holz in Österreich (Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2011). Es wird angenommen, dass durch die Altholzverbrennung Gas substituiert wird, welches in einem Brennwertkessel mit 95 % Wirkungsgrad verbrannt würde. Die Vorteile, die sich durch diese Substitution ergeben, werden in Modul D als negativer Wert angeführt.

Nicht berücksichtigt wurden Gutschriften, die sich durch Recycling anderer Baustoffe ergeben, da diese in Relation zum Energieinhalt des Materials bei Holzhäusern gering sind.

4.2 Datengrundlage

Die Lebenszyklusanalyse basiert auf einer Massenbilanz der Gebäudehülle und einem generischen Datenset zu den Wirkungsindikatoren der verwendeten Prozesse. Für die Massenbilanz der Gebäudehülle wurden die Gebäudepläne und das Leistungsverzeichnis des Beispielgebäudes herangezogen. Die Bruttogrundfläche wurde als Bezugsgröße für die Außenbauteile verwendet, Innenwände und -decken wurden auf Basis der Nettogrundfläche bemessen.

Die Berechnung der Indikatoren über den Lebenszyklus der Gebäudehülle wurde mit der Software EcoSoft v5.0 durchgeführt. Die Bewertung der relevanten Prozesse (Herstellung der Baumaterialien, Entsorgungsszenarien) basiert auf der IBO Referenzdatenbank (Version von Juli 2012). Die Daten für die Herstellungsphase der Baumaterialien basieren auf Standardprozessen für Energie- und Transportsysteme, Rohstoffe, Forstwirtschaft, Entsorgung und Verpackungsmaterialien aus der ecoinvent Datenbank (ecoinvent v2.1). Sie wurden durch generische Daten für Rohstoffe und Halbfertigprodukte ergänzt, die vom IBO im Rahmen anderer Forschungsprojekte erhoben wurden. Für die Berechnung des Primärenergieinhalts wird von EcoSoft wie in der ÖNORM EN 15804 festgeschrieben der untere Heizwert verwendet. Für alle Prozesse wird von EcoSoft unabhängig vom tatsächlichen Strommix der Europäische Strommix ENTSO-E (früher UCTE) aus den ecoinvent Daten v2.1 herangezogen. Die Treibhausgasemissionen wurden basierend auf den Daten des 4. IPCC Reports von 2007 berechnet. Alle anderen LCIA-Indikatoren gehen auf CML 2001 v3.2 zurück. Biogene CO₂-Emissionen werden als kohlenstoffneutral bewertet und können daher in den Lebenszyklusphasen A und B nicht getrennt ausgewiesen werden. Sie scheinen nur in der Phase C bei der Verbrennung der Holzbaustoffe und Zellulosedämmung als Emissionen aus dem Material auf.

Wenn Allokation nicht vermieden werden konnte, wurde eine ökonomische Allokationsmethode gewählt. Weiterführende Informationen zur Bewertungsmethode sind in Boogman und Mötzl (2009) zu finden. Der aktuelle IBO-Referenzdatensatz kann über eine Schnittstelle aus der Online-Datenbank www.baubook.at ausgelesen werden.

4.3 Indikatoren

Folgende Indikatoren wurden entsprechend ÖNORM EN 15978 analysiert:

- Versauerungspotenzial von Boden und Wasser (AP, in kg SO_{2 eq}/m² a)
- Eutrophierungspotenzial (EP, in kg PO_{4 eq}/m² a)
- Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht (ODP, in kg CFC-11 eq/m² a)
- Potenzial für die Bildung von troposphärischem Ozon (POCP, in kg C₂H_{4 eq}/m² a)
- Treibhauspotenzial (GWP, in kg CO_{2 eq}/m² a)
- Einsatz nicht erneuerbarer Primärenergie (PE n.e., in MJ/m² a)
- Einsatz erneuerbarer Primärenergie (PE e., in MJ/m² a)

Um die Besonderheit des nachwachsenden Rohstoffes Holz besser abbilden zu können, wurden folgende Indikatoren gemäß ÖNORM EN 15978 und Frp EN 16485 zusätzlich analysiert und abgebildet:

- Kohlenstoffgehalt der nachwachsenden Baustoffe (C-Gehalt, in kg CO₂ eq/m² a)
- Kohlendioxidemissionen aus der Verbrennung biogener Materialien (CO₂ biogen, in kg CO₂ eq/m² a)
- Als Rohstoff verwendete erneuerbare Primärenergie (PE e. Rohstoff, in MJ/m² a)

In Abbildung 1 ist exemplarisch das Treibhauspotenzial über den Lebenszyklus eines Holzgebäudes dargestellt. In Gelb sind die tatsächlichen Treibhausgasemissionen in der jeweiligen Phase des Lebenszyklus abgebildet. In dunklerem Grün ist auf der negativen Achse der Kohlenstoffgehalt im Holz (C-Gehalt) dargestellt. Der Kohlenstoff wird während des Wachstums vom Baum aus der Atmosphäre aufgenommen und bleibt bis zur Oxidation des Holzes (z.B. durch Verbrennung) im jeweiligen Holzprodukt gespeichert. Die Verbrennung der Holzbauteile erfolgt am Ende des Lebenszyklus und wird nach EN 15978 in den Phasen B und C ausgewiesen. Die dabei entstehenden biogenen Treibhausgasemissionen (CO₂ biogen) sind in hellgrüner Farbe dargestellt. Auf den gesamten Lebenszyklus eines Produktes oder Gebäudes gesehen, gleichen sich der C-Gehalt und die biogenen CO₂-Emissionen aus dem Material aus. Durch die Nutzung der thermischen Energie bei der Verbrennung der Holzbaustoffe können nach EN 15978 aber andere (fossile) Brennstoffe und dadurch auch Treibhausgasemissionen substituiert werden („CO₂ Vermeidung“). Dies kann in Phase D, außerhalb des Lebenszyklus, abgebildet werden.

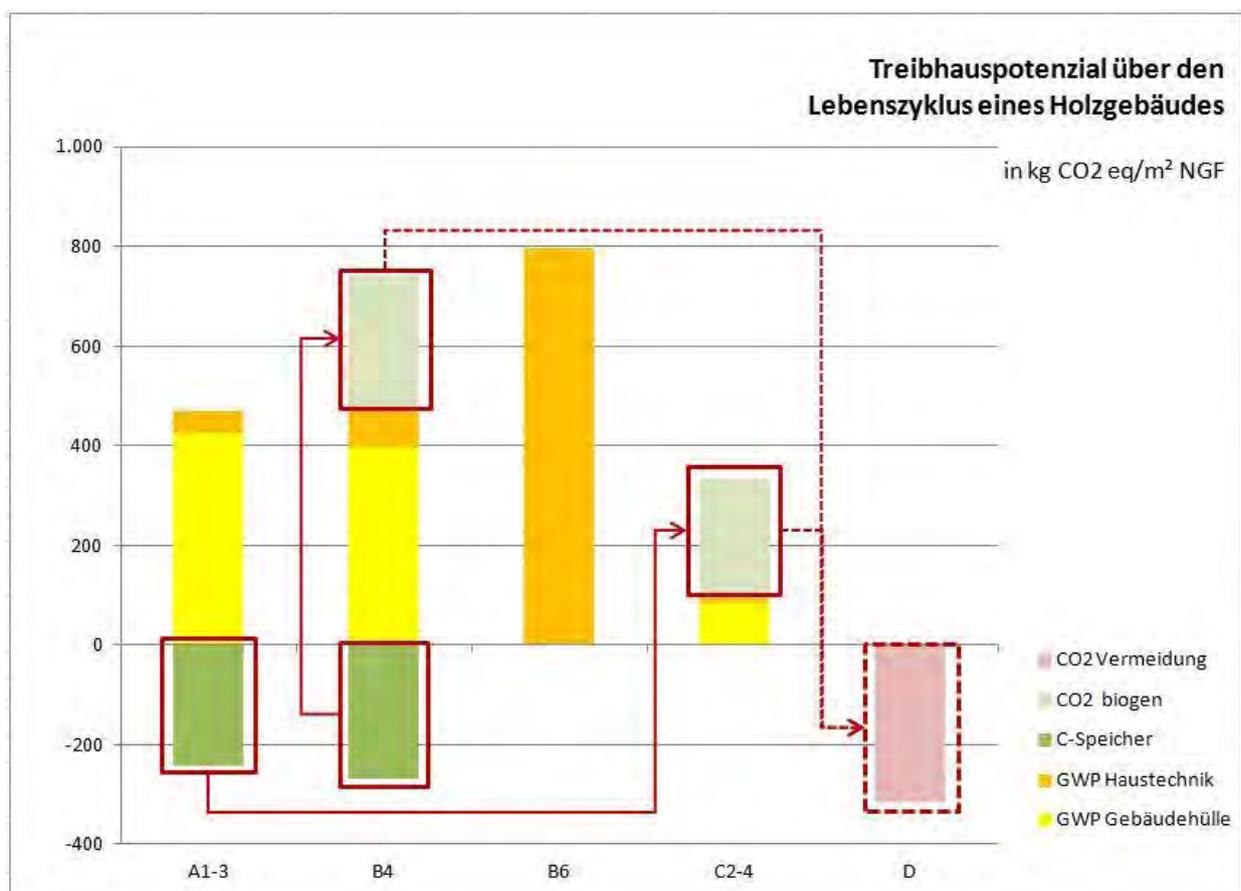


Abbildung 1: Exemplarische Darstellung des Treibhauspotenzials über den Lebenszyklus eines Holzgebäudes

(Quelle: eigene Darstellung)

Abbildung 2 zeigt ebenfalls exemplarisch den Einsatz erneuerbarer und nicht erneuerbarer Primärenergie über den Lebenszyklus eines Holzgebäudes. Die stofflich gebundene erneuerbare Primärenergie (PE e. Rohstoff) wird in der grafischen Darstellung in den Lebenszyklusphasen A und B als negativer Wert (dunkelgrün) aufgetragen. Dies geschieht, um ihn grafisch von der energetisch genutzten Primärenergie (PE n.e. und PEI e.) zu unterscheiden. Bei energetischer Verwertung der Baumaterialien in den Phasen B und C wird die im Rohstoff gebundene Primärenergie genutzt. Durch die energetische Nutzung können andere Brennstoffe substituiert werden. Diese Substitution steht außerhalb des Lebenszyklus und kann in Phase D dargestellt werden.

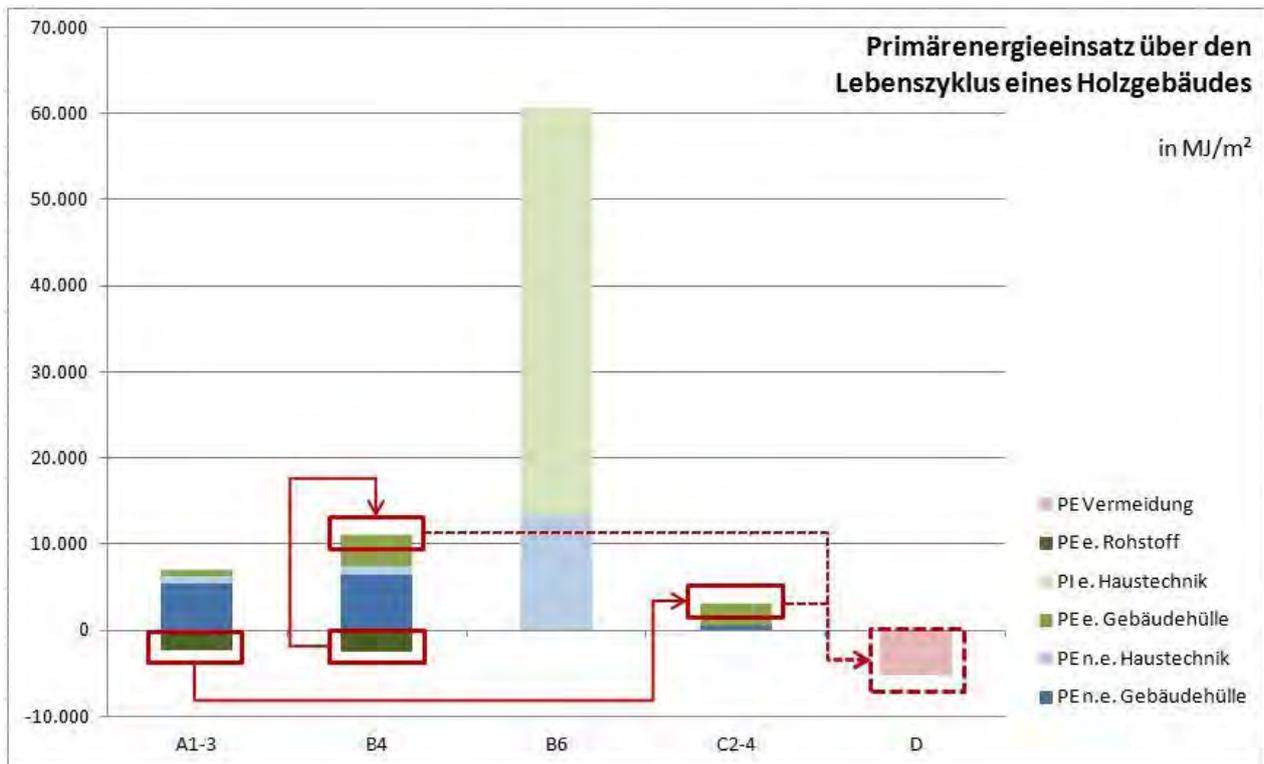


Abbildung 2: Exemplarische Darstellung des Primärenergieeinsatzes über den Lebenszyklus eines Holzgebäudes

(Quelle: eigene Darstellung)

5 Grundlagen und angewandte Methodik für die Berechnung der Lebenszykluskosten (LCC – Life Cycle Costing)

Die vorliegende Berechnung der ökonomischen Qualität der Gebäudevarianten wurde in Anlehnung an die ÖNORM EN 15643-4 erstellt.

Im Zuge des Forschungsprojektes wurden von der Arbeitsgruppe Nachhaltigkeitsbewertung des Instituts für Materialprüfung und Baustofftechnologie der TU Graz ökonomische Qualitäten für vier unterschiedliche Gebäudevarianten von Einfamilienhäusern (Niedrigenergiehaus, Sonnenhaus, Passivhaus und Plusenergiehaus) in vier verschiedenen Bauproduktvarianten,

(Betonbauweise, Holzspanbetonbauweise, Holzbauweise und Ziegelbauweise) auf Basis der seitens des Projektkonsortiums zur Verfügung gestellten Unterlagen, berechnet. Bei der Berechnung wurde nach ÖNORM EN 15643-4 vorgegangen.

5.1 Grundsätze der Bewertung der ökonomischen Gebäudequalität

Eine Bewertung der ökonomischen Qualität muss möglichst transparent, systematisch, nachprüfbar und vergleichbar aufbereitet sein.

Ziele der Bewertung der ökonomischen Qualität des Gebäudes:

- Identifikation der ökonomischen Auswirkungen und Aspekte von Gebäude und Grundstück
- Erstellen einer Entscheidungsgrundlage für Nutzer, Auftraggeber und Planer

Um den allgemeinen Grundsätzen der Nachhaltigkeit zu entsprechen, sind nach ISO 15392 alle drei Dimensionen der Nachhaltigkeit von Gebäuden (ökologische, soziale und ökonomische) notwendige Elemente für eine systematische Vorgehensweise bei der Nachhaltigkeitsbewertung. Die ÖNORM EN 15643-4 gibt für die Bewertung der ökonomischen Qualität zwei Indikatoren (Lebenszykluskosten und den Kapitalwert) in zwei Ansätzen für die monetäre Bewertung vor.

5.2 Bewertung der über den Verlauf des Lebenszyklus entstandenen Kosten

Dieser Ansatz stellt jene Gebäudevariante als am ökonomisch vorteilhaft dar, welche die geringsten Lebenszykluskosten über den Gebäudelebenszyklus aufweist. Voraussetzung für eine Bewertung der Gebäudevarianten nach diesem Ansatz ist, dass sie sich weder in ihrer Funktionalität noch in ihren Einnahmen unterscheiden. Bei dieser Form der Bewertung erfolgt ausschließlich die Bewertung der Kosten, die über den Lebenszyklus des Gebäudes entstehen. Für diesen Bewertungsansatz ist lediglich eine Erfassung von Kostenangaben notwendig.

5.3 Bewertung der ökonomischen Qualität als Kapitalwert

Dieser Ansatz weist jene Gebäudevariante als am ökonomisch Vorteilhaftesten aus, die mit dem höchsten diskontierten Erlös abzüglich der diskontierten Kosten über den Gebäudelebenszyklus den besten Kapitalwert aufweist. In diesem Ansatz wird die Entwicklung am freien Markt berücksichtigt. Daher sind im Zusammenhang mit der Bewertung der ökonomischen Qualität nach der Kapitalwertmethode Informationen zu finanziellen Erträgen (für dieses Forschungsprojekt nur die Berücksichtigung von Stromerträgen der Photovoltaikanlage) zu erfassen.

Für das vorliegende Forschungsprojekt erfolgte eine Bewertung der ökonomischen Qualität unter Anwendung der Kapitalwertmethode.

5.4 Anforderungen an das Bewertungsverfahren

5.4.1 Bewertungsgegenstand und Systemgrenze

Bewertungsgegenstand sind die Gebäudevarianten einschließlich Gründung über den Verlauf des gesamten Lebenszyklus. Da kein Einfluss der Außenanlagen auf die Gebäudeeigenschaften gegeben ist, werden diese nicht mitberücksichtigt.

Folgende Prozesse und Schritte sind bei der Festlegung des Bewertungsgegenstandes nach ÖNORM EN 15643-4 zu untersuchen:

- Funktionales Äquivalent: Gebäudeebene
- Betrachtungszeitraum: 50 Jahre
- Systemgrenze
- Angabe der technischen Merkmale des Gebäudemodells

5.4.2 Funktionales Äquivalent als Grundlage für die Vergleichbarkeit

Das funktionale Äquivalent beschreibt die geforderten technischen Eigenschaften, sowie die Funktionen eines Gebäudes. Dies dient dazu, eine einheitliche und vergleichbare Bewertungsgrundlage als Basis für Vergleiche zu schaffen.

Durch das Projektkonsortium wurden folgende Parameter nach ÖNORM EN 15643-4 für das funktionale Äquivalent festgelegt:

- Gebäudetyp: Einfamilienhaus
- Gebäudenutzung: Wohnzwecke

Die technischen Anforderungen an die Gebäudevarianten (Niedrigenergiehaus, Sonnenhaus, Passivhaus und Plusenergiehaus) wurden durch das Projektkonsortium gesondert festgelegt. Aus diesen Rahmenbedingungen wird eine zu betrachtende Bezugseinheit in Quadratmeter Nettoraumfläche (NRF) abgeleitet.

5.4.3 Zuordnung der Daten zum Gebäudelebenszyklus

Die für die ökonomische Bewertung notwendigen Informationen und Daten sind der Lebenszyklusphase zuzuordnen in der sie auftreten (siehe Tabelle 12).

Tabelle 12: Darstellung der einzelnen Module für die ökonomische Bewertung eines Gebäudes

Informationen zur Gebäudebeurteilung über den Lebenszyklus																	
Lebenszyklusbezogenen Gebäudeinformationen													Ergänzende Informationen				
A0 - A5					B1 - B7						C1 - C4				D		
Phase vor der Nutzung					Nutzungsphase						Phase nach der Nutzung				Vorteile und Belastungen außerhalb des Gebäudelebenszyklus		
A0	A1 - A3			A4 - A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3		C4	
Planungsphase	Herstellungsphase			Errichtungsphase							Entsorgungsphase				Angaben zu Wiederverwertung, Rückgewinnung und Recycling		
Grundstück und damit verbundene Gebühren	Rohstoffbeschaffung	Transport	Produktion	Transport	Errichtung / Einbau	Nutzung	Instandhaltung	Instandsetzung	Austausch	Modernisierung	Energieverbrauch im Betrieb	Wasserverbrauch im Betrieb	Abriss / Rückbau	Transport		Abfallbehandlung	Beseitigung
	X	X	X	X	X				X		X						

(Quelle: ÖNORM EN 15643-4)

Der Prozess der ökonomischen Bewertung eines Gebäudes beginnt mit der Phase der Planung und ist über sämtliche Phasen, die es im Lebenszyklus durchläuft, zu bewerten. Für die Betrachtung der ökonomischen Qualität sind Einnahmen in den Bewertungsprozess miteinzu beziehen. Integrierte Anlagen zur Nutzung von erneuerbaren Energien sind ebenfalls in der monetären Bewertung zu berücksichtigen.

In der gegenständlichen Arbeit wurde die ökonomische Qualität der in Tabelle 12 markierten Module bewertet.

5.4.4 Ökonomische Aspekte und Auswirkungen auf Gebäudeebene

Eine ökonomische Bewertung muss alle maßgebenden Informationen aus den Modulen A bis D nach folgenden Informationsinhalten berücksichtigen:

- Ökonomische Qualität bzw. Aspekte und Auswirkungen, in der Phase vor der Nutzung (A0 bis A5)
- Ökonomische Qualität bzw. Aspekte und Auswirkungen, in der Phase der Nutzung ohne Betrieb (B1 bis B5)
- Ökonomische Qualität bzw. Aspekte und Auswirkungen, in der Phase der Nutzung für den Gebäudebetrieb (B6 und B7)
- Ökonomische Qualität bzw. Aspekte und Auswirkungen, in der Entsorgungsphase (C1 bis C4)
- Ökonomische Qualität bzw. Aspekte und Auswirkungen, außerhalb des Lebenszyklus (D)

Ökonomische Qualität bzw. Aspekte und Auswirkungen, in der Phase vor der Nutzung (A0 bis A5)

Dem Modul A0 werden alle Kosten, die vor der Herstellungsphase und der Bauphase anfallen (z.B. Kosten für Grundstück, Dienstleistungen, etc.) zugerechnet. Folgende Kosten sind nach ÖNORM EN 15643-4 für die Module A0-A5 zu berücksichtigen:

- Kosten in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Kauf oder mit der Miete des Grundstücks
- Kosten für ab Werk gelieferte einsatzbereite Bauprodukte
- Zwischen Werk und Baustelle anfallende Kosten
- Honorare, alle an das Projektteam für die Projektarbeit geleisteten Zahlungen einschließlich Durchführbarkeitsstudien, Planung und Bauentwurf
- vorbereitende Arbeiten und temporäre Baustelleneinrichtung: Maßnahmen zur Räumung und Vorbereitung der Baustelle für die Bautätigkeit und Bereitstellung der Infrastruktur und von Versorgungsleitungen (Gas, Strom und Wasser) auf dem Grundstück
- Errichtung des Gebäudes - alle mit der Beschaffung und dem Bau verbundenen Aspekte des Gebäudes, einschließlich direkt angegliederter Parkplätze unmittelbar auf der Baustelle
- Erstausrüstung des Gebäudes – Ausstattung oder Umbau neuer Gebäude
- Landschaftsgestaltung, Außenanlagen auf dem Gelände
- Mit der Baugenehmigung zusammenhängende Steuern und weitere Kosten
- Zuschüsse und finanzielle Anreize

In der gegenständlichen Studie wurde durch das Konsortium eine Betrachtung der ökonomischen Qualität in der Phase vor der Nutzung auf die Module A1 bis A5 eingeschränkt.

Ökonomische Qualität bzw. Aspekte und Auswirkungen, in der Phase der Nutzung ohne Betrieb (B1 bis B5)

Folgende Kosten sind nach ÖNORM EN 15643-4 für die Module B1-B5 zu berücksichtigen:

- Gebäudebezogene Versicherungskosten
- An Dritte zu zahlende Pacht- und Mietgebühren
- Zyklische öffentliche Abgaben
 - Steuern
 - Zuschüsse und finanzielle Anreize
 - Einnahmen aus dem Verkauf von Vermögensgegenständen oder Elementen, die jedoch nicht Teil einer endgültigen Entsorgung sind
 - Einnahmen durch Dritte während des Betriebs
 - Reparaturen und Austausch kleinerer Komponenten/ kleiner Bereiche
 - Austausch oder Erneuerung größerer Systeme und Komponenten
 - Anpassung oder nachträgliche Ausstattung des Gebäudes - Ausstattung oder Änderung bestehender Gebäude
 - Reinigung
 - Pflege der Anlagen

- Renovierung
- Überprüfungen der Entsorgung am Ende der Mietzeit (endgültige Entsorgung ausgenommen)
- Mietende
- Geplante Bearbeitung oder geplante Erneuerung des genutzten Vermögensgegenstandes
- Kosten für das gebäudebezogene Gebäudemanagement

Für das vorliegende Forschungsprojekt erfolgte unter Abstimmung mit dem Konsortium eine Berechnung der ökonomischen Qualität für das Modul B4 (Austausch).

Ökonomische Qualität bzw. Aspekte und Auswirkungen, in der Phase der Nutzung für den Gebäudebetrieb (B6 und B7)

Folgende Kosten sind nach ÖNORM EN 15643-4 für die Module B6 und B7 zu berücksichtigen:

- Energiekosten während des Gebäudebetriebs (wenn nicht anders festgelegt, Nutzung wie in den mit der EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD) verbundenen Normen festgelegt)
- Mit der Wassernutzung verbundene Kosten
- Steuern
- Zuschüsse und finanzielle Anreize

Im Zusammenhang mit der Bewertung der ökonomischen Qualität für die Phase der Nutzung für den Gebäudebetrieb, wurde nach Abstimmung mit dem Konsortium das Modul B6 (Heizung) berücksichtigt. Bei den Gebäudevarianten mit Photovoltaik und Solarthermie erfolgte ebenfalls eine Berücksichtigung der ökonomischen Vorteile im Modul B7.

Ökonomische Qualität bzw. Aspekte und Auswirkungen, in der Entsorgungsphase (C1 bis C4 und D)

Folgende Kosten sind nach ÖNORM EN 15643-4 für die Module C1-C4 und das Modul D zu berücksichtigen:

- Rückbau / Abbau, Abriss
- Alle mit dem Rückbauprozess und der Entsorgung des gebauten Vermögensgegenstandes zusammenhängenden Transportkosten
- Gebühren und Steuern
- Kosten und/oder Einnahmen durch Wiederverwendung, Recycling und Energierückgewinnung in der Entsorgungsphase
- Einnahmen aus dem Grundstücksverkauf

Im vorliegenden Forschungsprojekt wurde die Phase der Beseitigung in Abstimmung mit dem Projektkonsortium nicht mitberücksichtigt.

5.4.5 Szenarien für die ökonomische Gebäudebewertung

Für die der Bewertung zugrunde gelegten Szenarien sind folgende Angaben und Dokumentationsschritte durchzuführen:

- Bewertung auf Grundlage festgelegter Szenarien die den Gebäudelebenszyklus ganzheitlich abbilden
- Dokumentation der angewendeten Szenarien die der Bewertung der ökonomischen Qualität zugrunde gelegt werden
- Szenarien müssen repräsentativ und realistisch sein
- Szenarien müssen den technischen und funktionalen Anforderungen entsprechen
- Übereinstimmung der Szenarien mit den festgelegten Anforderungen im funktionalen Äquivalent

Im gegenständlichen Forschungsprojekt wurde die Berechnung der ökonomischen Qualität unter Berücksichtigung der Kostengruppen zwei (Bauwerk – Rohbau), drei (Bauwerk – Technik) und vier (Bauwerk – Ausbau) der ÖNORM B 1801-1 nach Abstimmung mit dem Konsortium durchgeführt (siehe Tabelle 13).

Tabelle 13: Kostengruppierung nach ÖNORM B 1801-1

Kostengruppe	Baugliederung	Abkürzung
0	Grund	GRD
1	Aufschließung	AUF
2	Bauwerk – Rohbau	BWR
3	Bauwerk – Technik	BWT
4	Bauwerk – Ausbau	BWA
5	Einrichtung	EIR
6	Außenanlagen	AAN
7	Planungsleistungen	PLL
8	Nebenleistungen	NBL
9	Reserven	RES

(Quelle: ÖNORM B 1801-1)

5.5 Bericht und Ergebniskommunikation

Im Bericht wird die ökonomische Bilanzierung systematisch zusammengefasst. Sie enthält alle Angaben, die für eine transparente, richtige, genaue, vollständige und repräsentative Bewertung der ökonomischen Qualität notwendig sind.

5.5.1 Bewertungsergebnisse

Um eine verständliche, transparente und systematische Darstellung der ökonomischen Qualität für die Gebäudevarianten zu gewährleisten, sind die Ergebnisse entsprechend den Modulen nach Tabelle 12 aufzubereiten. Kosten, die außerhalb dieser angegebenen Module entstehen, sind gesondert anzuführen und zu beschreiben.

Gliederung der Bewertungsergebnisse nach ÖNORM EN 15643-4

Eine Einteilung der Ergebnisse zufolge der Bewertung der ökonomischen Qualität der Gebäudevarianten ist in zwei Hauptgruppen durchzuführen:

- Betrachtung der ökonomischen Qualität über den Gebäudelebenszyklus exklusive Energie- und Wasserbedarf für den Gebäudebetrieb

- Betrachtung der ökonomischen Qualität über den Gebäudelebenszyklus nur für den Energie- und Wasserbedarf für den Gebäudebetrieb

Betrachtung der ökonomischen Qualität über den Gebäudelebenszyklus exklusive Energie und Wasserbedarf für den Gebäudebetrieb

Eine Unterteilung ist nach ÖNORM EN 15643-4 für die folgenden vier Gruppen durchzuführen:

- Ergebnisse für die ökonomische Qualität aus der Planungsphase einschließlich der vor der Herstellungsphase und der Errichtungsphase anfallenden Kosten, wie z. B. Kosten in Zusammenhang mit dem Grundstück und den damit verbundenen fachlichen Dienstleistungen
- Ergebnisse für die ökonomische Qualität aus der Herstellungsphase der Errichtungsphase, einschließlich Planung und Entwurf, vor der Übergabe des Gebäudes
- Ergebnisse für die ökonomische Qualität aus der Nutzungsphase (nach der Übergabe des Gebäudes) mit Ausnahme des Energie- und Wassereinsatzes für den Gebäudebetrieb
- Ergebnisse für die ökonomische Qualität aus der Entsorgungsphase des Gebäudes

Betrachtung der ökonomischen Qualität über den Gebäudelebenszyklus nur für den Energie und Wasserbedarf für den Gebäudebetrieb

Eine Betrachtung des Bedarfs an Energie und Wasser für den Gebäudebetrieb ist für die Phase der Nutzung des Gebäudes durchzuführen. Diese beginnt nach der Übergabe des Gebäudes an den Nutzer (B1) und endet mit dem Beginn der Entsorgungsphase (C1).

Eine Einteilung des für den Gebäudebetrieb notwendigen Energiebedarfs ist wie folgt durchzuführen:

- Ergebnisse aus Heizung, Kühlung, Lüftung, Warmwasser und Beleuchtung
- Ergebnisse aus anderen gebäudeintegrierten technischen Systemen
- Ergebnisse aus Geräten, die nicht mit dem Gebäude verbunden sind, sofern in die Bewertung einbezogen

Eine Einteilung des für den Gebäudebetrieb notwendigen Wasserbedarfs ist wie folgt durchzuführen:

- Ergebnisse aus gebäudeintegrierten technischen Systemen
- Ergebnisse aus Geräten, die nicht mit dem Gebäude verbunden sind, sofern in die Bewertung einbezogen

Für das gegenständliche Forschungsprojekt wurden lediglich die Energien für das konditionieren (Heizen, Kühlen) der Gebäudevarianten berücksichtigt. Die Umweltwirkungen für Beleuchtung, Wasserbedarf, etc. wurden nach Abstimmung mit dem Konsortium aufgrund der Annahme, dass diese Wirkungen für alle Gebäudevarianten gleich sind, nicht untersucht.

Vorteile und Belastungen außerhalb des Gebäudelebenszyklus

Vorteile und Belastungen zufolge von Ergebnissen für die ökonomischen Qualität für Modul D dürfen als zusätzliche bzw. ergänzende Informationen außerhalb des Gebäudelebenszyklus angegeben werden. Diese zusätzlichen Informationen sind zusammengefasst darzustellen.

Vorteile bzw. Belastungen für die ökonomische Qualität der Gebäudevarianten wurde nach Abstimmung mit dem Projektkonsortium nicht mitberücksichtigt.

5.5.2 Funktionales Äquivalent

Für die ökonomische Bewertung der in dieser Studie betrachteten Gebäudevarianten wurde eine Darstellung der Ergebnisse anhand des Barwertes über einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren durchgeführt.

Zusätzlich wurde eine Berechnung und Darstellung der Investitionskosten (A1-A3), der Kosten für den Austausch (B4) von Bauteilen und Bauprodukten und der Kosten für den Energieverbrauch (B6) für den Gebäudebetrieb (Heizung) durchgeführt.

5.5.3 Technische und funktionale Anforderungen

Die funktionalen und technischen Anforderungen, die an ein Gebäude gestellt werden, haben Einfluss auf die Ergebnisse der ökonomischen Bewertung und sind im Lastenheft des Auftraggebers bzw. in der Projektbeschreibung festgehalten. Diese Auswirkungen, die durch die Anforderungen an die funktionale und technische Qualität an ein Gebäude gestellt werden sind, über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes zu betrachten. Eine Berücksichtigung dieser Anforderungen ist in der Beschreibung des funktionalen Äquivalents durchzuführen.

Bei den in dieser Studie untersuchten Gebäudevarianten wurden durch das Konsortium genaue Vorgaben hinsichtlich der funktionalen und technischen Anforderungen anhand der Leistungsverzeichnisse (PORR, Stand 27.08.2012) vorgegeben.

5.6 Überblick über die Bewertungsmethodik für die Bewertung der ökonomischen Qualität von Gebäuden

Für die Bewertung der ökonomischen Qualität über den Lebenszyklus von Gebäuden sind sämtliche quantifizierbaren ökonomischen Aspekte und Auswirkungen auf Grundlage der Lebenszykluskosten und dem Kapitalwert zu berücksichtigen.

Folgende Kriterien und Rahmenbedingungen sind zu beschreiben und anzugeben:

- Beschreibung des Bewertungsgegenstandes
- Systemgrenze auf Gebäudeebene
- Angabe der anzuwendenden Indikatoren und der Berechnungsverfahren
- Angabe zu den Anforderungen an die Darstellung der Berichtsergebnisse

Für das gegenständliche Forschungsprojekt erfolgt eine Auswertung der ökonomischen Qualität für die einzelnen Gebäudevarianten bezogen auf ein gesamtes Gebäude. Eine Gliederung der Kosten für die Bauteile und die technische Gebäudeausstattung der unterschiedlichen Gebäudevarianten erfolgte nach ÖNORM B 1801-1. Die in Tabelle 14 und Tabelle 15 angeführten Parameter wurden den Berechnungen zugrunde gelegt.

Tabelle 14: Kosten und Gewinne für Energie

Energieform	Einheit	Kosten in [€]
Strom	kWh	0,17
Öl	l	0,65
Erdgas	m ³	0,62
Pellets	kg	0,25
Holz	kg	0,16
Energieform	Einheit	Gewinn in [€]
PV	kWh	0,10
	kWh	0,10

(Quelle: Statistik Austria)

Tabelle 15: Zinssätze für die Berechnung der Lebenszykluskosten

Zinssätze für die Berechnung der Lebenszykluskosten in [%]	
Kalkulationszinssatz	5,5
Allgemeine Inflationsrate	2,0
Spezifische Inflationsrate Energie	4,0
Spezifische Inflationsrate Dienstleistungen	2,0

(Quelle: ÖGNI)

6 Angenommene Nutzungsdauern der Bauprodukte und Baumaterialien für die Bilanzierung (LCA und LCC)

Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie mit angeschlossener TVFA



ND [Jahre] Nutzungsdauer: Angabe in Jahren					
Bsp.:	ND [Jahre]	RQ [%]	Beseitigung	[%]	Beschreibung
Beton	100				Dies bedeutet, dass Beton eine ND von 100 Jahren aufweist.

RQ [%] Recyclingquote: Angabe des Prozentsatzes, welcher recycelt wird.					
Bsp.:	ND [Jahre]	RQ [%]	Beseitigung	[%]	Beschreibung
Beton		90			Dies bedeutet, dass 90 Prozent des Betons recycelt werden.

Beseitigung In diesem Bereich ist anzugeben wie das Produkt zu entsorgen ist.					
Bsp.:	ND [Jahre]	RQ [%]	Beseitigung	[%]	Beschreibung
Beton			1	10	Dies bedeutet, dass 10% des Materials einer Deponierung zugeführt werden.

Szenarien für Abfallbeseitigung und Abfallbehandlung	
1	Deponierung
2	Verbrennung
3	Pyrolyse
4	Vergasung
5	Kompostierung
6	Biologisch - mechanische Behandlung
7	

Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie mit angeschlossener TVFA



Nutzungsdauern und Recyclingquoten: allgemeine Bauteile lt. LV bzw. Excel - Tabelle

	ND [Jahre]	RQ [%]	Beseitigung	[%]
*KG-Fundamentplatte + Aufbauten				
Estrich versiegelt	50	90	1	10
Bewehrung CQS5	50	100		0
PE-Folie	50	0	2	100
Trittschalldämmung EPS	50	0	2	100
Sandausgleich	50	0	1	100
Dichtbeton – Bodenplatte	100	90	1	10
Bewehrung dazu (34 kg/m2)	100	100		0
XPS-Dämmung druckfest	100	0	2	100
Magerbetonsauberkeitsschicht	100	90	1	10
Rollierung	100	100		0
*KG-Betonwände + Aufbauten				
Weissigung	15	0	1	100
Bet.+Schal.Wand ü.20-30 cm C25/30 XC1	100	90	1	10
Bewehrungsstahl	100	100		0
Bitumenvoranstrich	60	0	2	100
Bitumenbahn 2-lagig	60	0	2	100
10cm XPS Perimeterdämmung	60	0	2	100
*KG-Innenwand 17 cm				
Ziegel HLZ	100	50	1	50
Mörtel	100	50	1	50
Innenputz	50	50	1	50
Weissigung	15	0	1	100
*KG-Innenwand 25 cm				
Ziegel HLZ	100	50	1	50
Mörtel	100	50	1	50
Innenputz	50	50	1	50
Weissigung	15	0	1	100
*KG-Fenster + Lichtschacht				
Verglasung, double (2-IV), U<1.1 W/m2K	30	0	1	100
Fensterrahmen Kunststoff	30	90	2	10
Lichtschacht	60	90	2	10
*Fenster				
Verglasung, double (2-IV), U<1.1 W/m2K	30	0	1	100
Fensterrahmen Kunststoff	30	90	2	10
*Fensterbänke				
Fensterbank außen, Alu beschichtet	30	100		0
Fensterbank innen, Naturstein	100	90	1	10

*Innentüren	ND [Jahre]	RQ [%]	Beseitigung	[%]
Türblätter, Blech	70	80	2	20
Türblätter, Holz	50	0	2	100
U-Zarge, Stahl	70	100		0
U-Zarge, Holz	50	0	2	100
*Außentüre	ND [Jahre]	RQ [%]	Beseitigung	[%]
Türblatt, Holz	50	0	2	100
Türblatt, Kunststoff	50	90	2	10
Zarge, Holz	50	0	2	100
Zarge, Kunststoff	50	90	2	10
Zarge, Stahl	50	100		0
*Dachaufbau	ND [Jahre]	RQ [%]	Beseitigung	[%]
Dachziegel Ton	50	50	1	50
Ziegellattung 3/5	50	0	2	100
5cm Streulattung	50	0	2	100
Windbremse (PE-Folie)	50	0	2	100
3cm Schalung	100	0	2	100
31cm Sparren (NEH, SH)	100	0	2	100
31cm Steinwolle Dämmung (NEH, SH)	50	0	1	100
1,5cm OSB-Platte	50	0	2	100
Ampatex Resano	50	0	2	100
2,4cm Streulattung	50	0	2	100
1,25cm GKF-Platte	50	50	1	50
Weissigug	15	0	1	100
24cm Pfetten (NEH, SH)	80	0	2	100
*allgemein/sonstiges	ND [Jahre]	RQ [%]	Beseitigung	[%]
Bauspenglerarbeiten				100
Bleche für Innenanwendungen	50	100		0
Bleche für Außenanwendungen	40	100		0
Fliesenlegerarbeiten				100
Fliesen für Innenanwendungen	30	0	1	100
Fliesen für Außenanwendungen	20	0	1	100
Holzfußböden (Parkett)	25	0	2	100
Holzbohlenbelag außen	20	0	2	100
Kamin (Fertigteile mit Schamott)	80	0	1	100
Punktfundamente für Stahlkonstruktion	100	90	1	10
Stahlkonstruktion außen	80	100		0
Stiegenkonstruktion (Beton)	100	90	1	10

von 1

Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie mit angeschlossener TVFA



Nutzungsdauern und Recyclingquoten: Ziegelbauweise lt. LV bzw. Excel - Tabelle

* A1 - A3, KG-Decke Z-N-W, LV 02 08 01 01 A-H	ND [Jahre]	RQ [%]	Beseitigung	[%]
* A1 - A3, 01 Estrich, KG-Decke	50	90	1	10
* A1 - A3, 02 PE-Folie, KG-Decke	50	0	2	100
* A1 - A3, 03 EPS-T 650, KG-Decke	50	0	2	100
* A1 - A3, 04 Blähton-schüttung, KG-Decke	50	100		0
* A1 - A3, 05 Stahlbetondecke, KG-Decke	100	90	1	10
* A1 - A3, 06 Bewehrung, KG-Decke	100	100		0
* A1 - A3, 07 EPS-Dämmung, KG-Decke	50	0	2	100
* A1 - A3, 08 Gipsputz, KG-Decke	50	50	1	50
* A1 - A3, 09 Malerei, KG-Decke	15	0	1	100
* A1 - A3, ZD-Decke-Z-N-W, LV 02 08 02 02 A-G	ND [Jahre]	RQ [%]	Beseitigung	[%]
* A1 - A3, 01 Estrich, ZD-Decke	50	90	1	10
* A1 - A3, 02 PE-Folie, ZD-Decke	50	0	2	100
* A1 - A3, 03 Polystyrol EPS, ZD-Decke	50	0	2	100
* A1 - A3, 04 EPS-Granulat Zementgebunden, ZD-Decke	50	0	1	100
* A1 - A3, 05 Ziegeldecke, ZD-Decke	100	50	1	50
* A1 - A3, 06 Aufbeton, ZD-Decke	100	90	1	10
* A1 - A3, 07 Bewehrung, ZD-Decke	100	100		0
* A1 - A3, 08 Putz, ZD-Decke	50	50	1	50
* A1 - A3, 09 Malerei-Farbe, ZD-Decke	15	0	1	100
* A1 - A3, AW-Z-N-W, LV 02 08 04 05 A-F	ND [Jahre]	RQ [%]	Beseitigung	[%]
* A1 - A3, 01 Farbe-innen, AW Z-N-W	15	0	1	100
* A1 - A3, 02 Innenputz, AW Z-N-W	50	50	1	50
* A1 - A3, 03 Ziegel, AW Z-N-W	100	50	1	50
* A1 - A3, 04 Dämmung-EPS, AW Z-N-W	30	0	2	100
* A1 - A3, 05 Spachtelmasse, AW Z-N-W	30	0	1	100
* A1 - A3, 06 Armierungsnetz, AW Z-N-W	30	0	1	100
* A1 - A3, 07 Feinputz, AW Z-N-W	30	0	1	100
* A1 - A3, IW-HLZ-12cm -Z-N-W, LV 02 08 06 02 A-F	ND [Jahre]	RQ [%]	Beseitigung	[%]
* A1 - A3, 01 Farbanstrich, IW-HLZ-12cm -Z-N-W	15	0	1	100
* A1 - A3, 02 Innenputz, IW-HLZ-12cm -Z-N-W	50	50	1	50
* A1 - A3, 03 Ziegel, IW-HLZ-12cm -Z-N-W	100	0	1	100
* A1 - A3, IW-HLZ-17cm -Z-N-W, LV 02 08 06 01 A-E	ND [Jahre]	RQ [%]	Beseitigung	[%]
* A1 - A3, 01 Farbanstrich, IW-HLZ-17cm -Z-N-W	15	0	1	100
* A1 - A3, 02 Innenputz, IW-HLZ-17cm -Z-N-W	50	50	1	50
* A1 - A3, 03 Ziegel, IW-HLZ-17cm -Z-N-W	100	0	1	100

Nutzungsdauern und Recyclingquoten: Betonbauweise lt. LV bzw. Excel - Tabelle

* A1 - A3, KG-Decke B-N-W, LV 02 08 01 01 A-H	ND [Jahre]	RQ [%]	Beseitigung	[%]
* A1 - A3, 01 Estrich, KG-Decke B-N-W	50	90	1	10
* A1 - A3, 02 PE-Folie, KG-Decke B-N-W	50	0	2	100
* A1 - A3, 03 EPS-T 650, KG-Decke B-N-W	50	0	2	100
* A1 - A3, 04 Blähtonanschüttung, KG-Decke B-N-W	50	100		0
* A1 - A3, 05 Stahlbetondecke, KG-Decke B-N-W	100	90	1	10
* A1 - A3, 06 Bewehrung, KG-Decke B-N-W	100	100		0
* A1 - A3, 07 EPS-Dämmung, KG-Decke B-N-W	50	0	2	100
* A1 - A3, 08 Gipsputz, KG-Decke B-N-W	50	50	1	50
* A1 - A3, 09 Malerei, KG-Decke B-N-W	15	0	1	100

* A1 - A3, ZD-Decke-B-N-W, LV 02 08 02 02 A-G	ND [Jahre]	RQ [%]	Beseitigung	[%]
* A1 - A3, 01 Estrich, ZD-Decke B-N-W	50	90	1	10
* A1 - A3, 02 PE-Folie, ZD-Decke B-N-W	50	0	2	100
* A1 - A3, 03 Polystyrol EPS, ZD-Decke B-N-W	50	0	2	100
* A1 - A3, 04 Blähtonanschüttung, ZD-Decke B-N-W	50	100		0
* A1 - A3, 05 Stahlbetondecke, ZD-Decke B-N-W	100	90	1	10
* A1 - A3, 06 Bewehrung, ZD-Decke	100	100		0
* A1 - A3, 07 Spachtelung, ZD-Decke B-N-W	50	0	1	100
* A1 - A3, 08 Malerei-Farbe, ZD-Decke	15	0	1	100

* A1 - A3, AW-B-N-W , LV 02 08 04 01 A-F	ND [Jahre]	RQ [%]	Beseitigung	[%]
* A1 - A3, 01 Malerei-Farbe, AW B-N-W	15	0	1	100
* A1 - A3, 02 Spachtelmasse, AW B-N-W	50	0	1	100
* A1 - A3, 03 Stahlbeton, AW (18cm) B-N-W	100	90	1	10
* A1 - A3, 04 Bewehrung, AW (18cm) B-N-W	100	100		0
* A1 - A3, 05 Dämmung-EPS, AW B-N-W	30	0	2	100
* A1 - A3, 06 Dünnschichtputz, AW B-N-W	30	0	1	100
* A1 - A3, 07 Armierungsnetz, AW B-N-W	30	0	1	100
* A1 - A3, 08 Feinputz, AW B-N-W	30	0	1	100

* A1 - A3, IW-HLZ-12cm -B-N-W , LV 02 08 06 02 A-F	ND [Jahre]	RQ [%]	Beseitigung	[%]
* A1 - A3, 01 Farbanstrich, IW-HLZ-12cm -B-N-W	15	0	1	100
* A1 - A3, 02 Innenputz, IW-HLZ-12cm -B-N-W	50	50	1	50
* A1 - A3, 03 Ziegel, IW-HLZ-12cm -B-N-W	100	50	1	50

* A1 - A3, IW-HLZ-17cm -B-N-W , LV 02 08 06 01 A-E	ND [Jahre]	RQ [%]	Beseitigung	[%]
* A1 - A3, 01 Farbanstrich, IW-HLZ-17cm -B-N-W	15	0	1	100
* A1 - A3, 02 Innenputz, IW-HLZ-17cm -B-N-W	50	50	1	50
* A1 - A3, 03 Ziegel, IW-HLZ-17cm -B-N-W	100	50	1	50

Nutzungsdauern und Recyclingquoten: Holzspanbetonbauweise lt. LV bzw. Excel - Tabelle

* A1 - A3, KG-Decke (S-N-H), LV 02 08 01 01 A-H	ND [Jahre]	RQ [%]	Beseitigung	[%]
* A1 - A3, 01 Estrich, KG-Decke S-N-H	50	90	1	50
* A1 - A3, 02 PE-Folie, KG-Decke S-N-H	50	0	2	50
* A1 - A3, 03 EPS-T 650, KG-Decke S-N-H	50	0	2	50
* A1 - A3, 04 Blähtonanschüttung, KG-Decke S-N-H	50	100		50
* A1 - A3, 05 Stahlbetondecke, KG-Decke S-N-H	100	90	1	0
* A1 - A3, 06 Bewehrung, KG-Decke S-N-H	100	100		0
* A1 - A3, 07 EPS-Dämmung, KG-Decke S-N-H	50	0	2	50
* A1 - A3, 08 Gipsputz, KG-Decke S-N-H	50	50	1	50
* A1 - A3, 09 Malerei, KG-Decke S-N-H	15	0	1	85

* A1 - A3, ZD-Decke-S-N-H, LV 02 08 02 02 A-G	ND [Jahre]	RQ [%]	Beseitigung	[%]
* A1 - A3, 01 Estrich, ZD-Decke S-N-H	50	90	1	10
* A1 - A3, 02 PE-Folie, ZD-Decke S-N-H	50	0	2	100
* A1 - A3, 03 Polystyrol EPS, ZD-Decke S-N-H	50	0	2	100
* A1 - A3, 04 EPS-Granulat Zementgebunden, ZD-Decke S-N-H	50	0	1	100
* A1 - A3, 05 Ziegeldecke, ZD-Decke S-N-H	100	50	1	50
* A1 - A3, 06 Aufbeton, ZD-Decke S-N-H	100	90	1	10
* A1 - A3, 07 Bewehrung, ZD-Decke S-N-H	100	100		0
* A1 - A3, 08 Putz, ZD-Decke S-N-H	50	50	1	50
* A1 - A3, 09 Malerei-Farbe, ZD-Decke S-N-H	15	0	1	100

* A1 - A3, AW-S-N-H , LV 02 08 04 05 A-F	ND [Jahre]	RQ [%]	Beseitigung	[%]
* A1 - A3, 01 Farbe-innen, AW S-N-H	15	0	1	100
* A1 - A3, 02 Innenputz, AW S-N-H	50	50	1	50
* A1 - A3, 03 Isospan AW-Stein 18cm, AW S-N-H	100	50	1	50
* A1 - A3, 04 Holzfaserdämmplatte 20cm, AW S-N-H	30	0	2	100
* A1 - A3, 05 Spachtelmasse, AW S-N-H	30	0	1	100
* A1 - A3, 06 Armierungsnetz, AW S-N-H	30	0	1	100
* A1 - A3, 07 Feinputz, AW S-N-H	30	0	1	100

* A1 - A3, IW-Isospan , LV 02 08 06 02 A-F	ND [Jahre]	RQ [%]	Beseitigung	[%]
* A1 - A3, 01 Farbanstrich, IW-Isospan S-N-H	15	0	1	100
* A1 - A3, 02 Innenputz, IW-Isospan S-N-H	50	50	1	50
* A1 - A3, 03 Isospan IW-Stein 18cm, IW 01 S-N-H	100	50	1	50

7 Detailergebnisse der Ökobilanzierung Haustechnik (LCA)

Die folgenden Unterkapitel zeigen eine detaillierte Aufstellung der Ergebnisse aus der Bilanzierung der Ökoindikatoren je Haustechnikvariante und gegliedert nach Lebenszyklusphase. Die Auswertungsgrafiken zeigen jeweils den Gesamtbetrag eines Indikators als 100 % verteilt auf die einzelnen Haustechnikkomponenten dieser Variante. Die Balken treffen keine Aussage über die Relation zwischen den verschiedenen Haustechnikvarianten und können miteinander nicht verglichen werden. Auch sagen sie nichts über die absolute Höhe der bilanzierten Ergebniswerte aus.

7.1 Herstellungsphase Heizung und Lüftung (A1-A3)

Anmerkung: Die Position „Wärmeverteilung“ enthält die Rohre einschließlich aller Wärmedämmungen, die Umwälzpumpe und das Ausdehnungsgefäß.

7.1.1 Niedrigenergiehaus mit Wärmepumpe (NEH1)

Mehr als 50 % der Beiträge zur Herstellung der Heizungs- und Lüftungsanlage des NEH1 liefert – mit Ausnahme in der Kategorie CED ren – die Wärmebereitstellung (hier v.a. der Erdwärmekollektor). Für den relativ hohen CED ren Wert der Flächenheizung ist das Aluminium der Heizungsrohre verantwortlich. Der höhere Wert der Wärmebereitstellung beim ODP resultiert aus dem vergleichsweise hohen ODP-Wert des generischen Datensatzes für die Herstellung des Kältemittels (Abbildung 3).

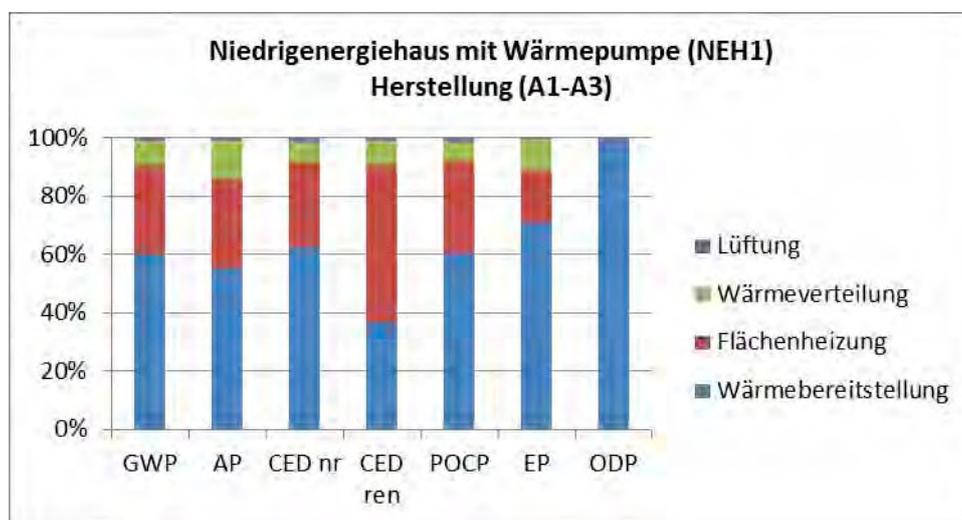


Abbildung 3: Ergebnisse der analysierten Indikatoren der Herstellungsphase Niedrigenergiehaus (Wärmepumpe)

7.1.2 Niedrigenergiehaus mit Pelletsheizung (NEH2)

Das Bild beim NEH2 ist vergleichbar mit jenem des NEH1. Das ODP verhält sich wie die anderen Indikatoren, da NEH2 keine Wärmepumpe hat (Abbildung 4).

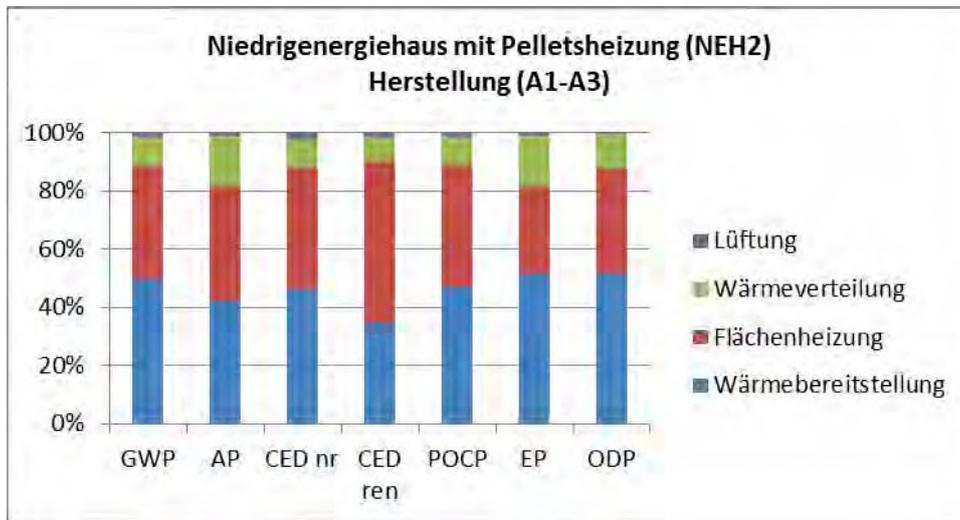


Abbildung 4: Ergebnisse der analysierten Indikatoren der Herstellungsphase Niedrigenergiehaus (Pellets)

7.1.3 Passivhaus mit Wärmepumpe (PH1)

Beim PH1 gibt es nur eine Lüftungsanlage. Der Gesamtbetrag in den einzelnen Indikatoren setzt sich heterogen aus den Einzelbeträgen der Lüftungskomponenten zusammen. Das ODP ist ausschließlich durch die Wärmepumpe (ODP des generischen Datensatzes „Kältemittel“) verursacht (Abbildung 5).

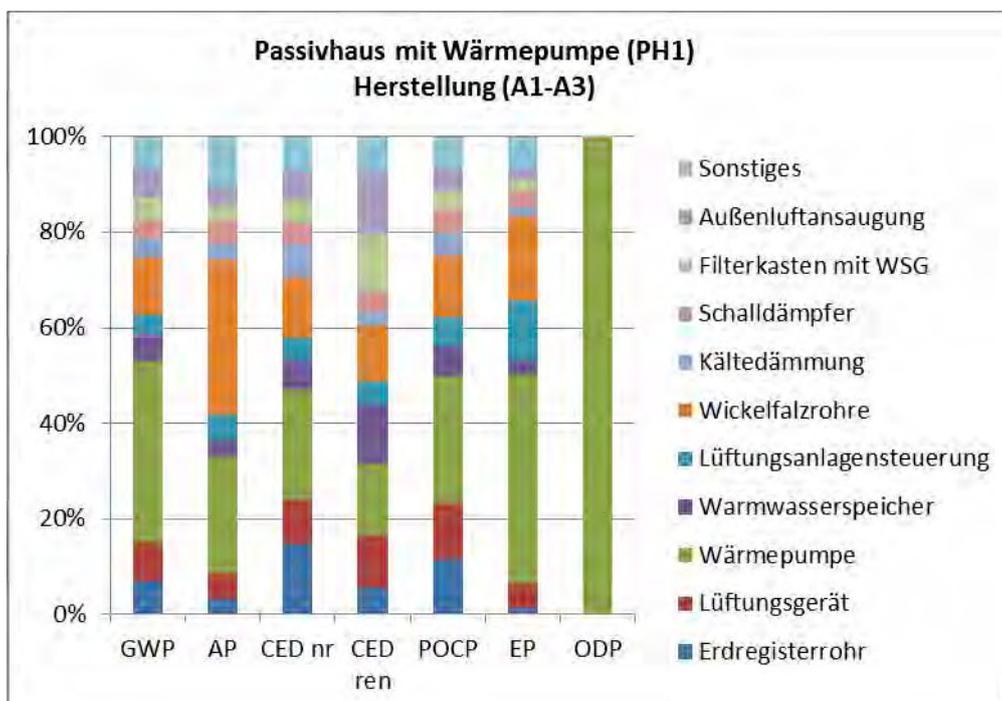


Abbildung 5: Ergebnisse der analysierten Indikatoren der Herstellungsphase Passivhaus (Wärmepumpe)

7.1.3.1 Passivhaus mit Pelletsheizung (PH2)

Beim PH2 mit Pelletsheizung sind die Beiträge in allen Kategorien relativ gleichmäßig auf Wärmebereitstellung, Flächenheizung + Wärmeverteilung und Lüftung verteilt (Abbildung 6).

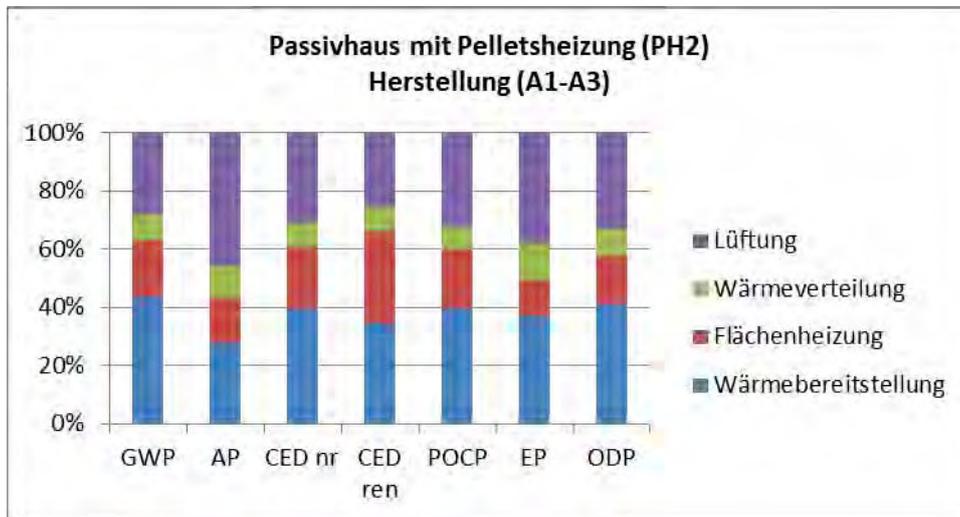


Abbildung 6: Ergebnisse der analysierten Indikatoren der Herstellungsphase Passivhaus (Pellets)

7.1.3.2 Sonnenhaus (SH)

Beim SH überwiegen in der Herstellungsphase die Beiträge durch die Solaranlage plus Solartank (Abbildung 7).

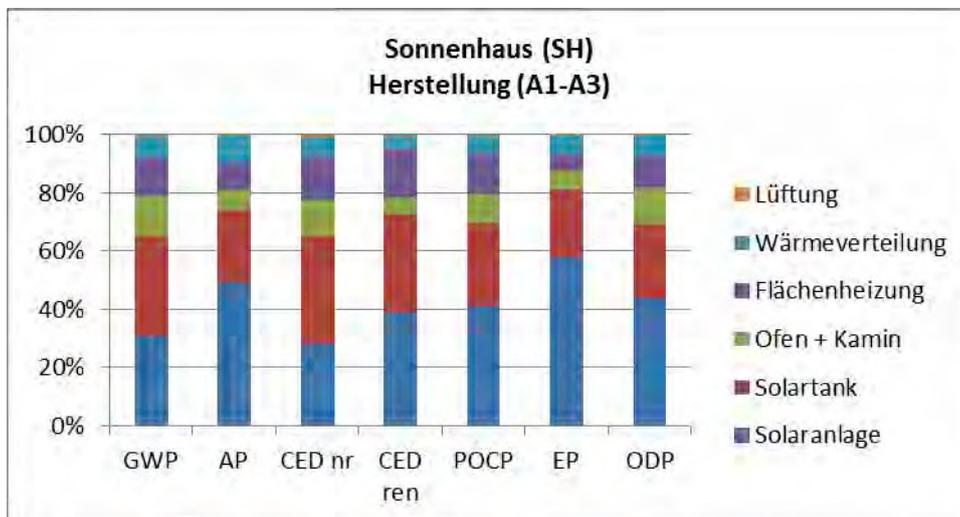


Abbildung 7: Ergebnisse der analysierten Indikatoren der Herstellungsphase Sonnenhaus

7.1.4 Plusenergiehaus (PEH)

Beim PEH trägt die Lüftungsanlage am meisten zu den Indikatoren bei. Beim ODP ist praktisch ausschließlich die Herstellung des Kältemittels für die Wärmepumpe ausschlaggebend (Abbildung 8).

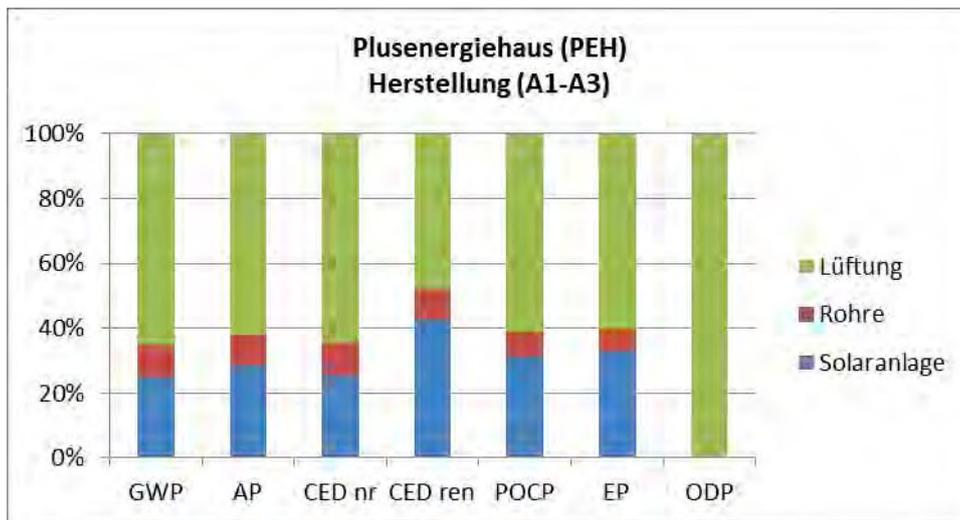


Abbildung 8: Ergebnisse der analysierten Indikatoren der Herstellungsphase Plusenergiehaus

7.2 Materialbezogene Nutzungsphase Heizung und Lüftung (B4)

7.2.1 Niedrigenergiehaus mit Wärmepumpe (NEH1)

Aufgrund des relativ häufigen Austausches während der 100 Jahre Gebäudelebensdauer ist beim NEH1 der Anteil der Wärmebereitstellung in den meisten Kategorien höher als in der Herstellungsphase. Nur beim Treibhauspotenzial kommt es durch die R134a-Emissionen bei der Herstellung und Entsorgung der Austauschkomponenten zu einer Verschiebung.

Der vergleichsweise höhere Wert der Wärmebereitstellung beim ODP resultiert aus dem vergleichsweise hohen ODP-Wert des generischen Datensatzes für die Herstellung des Kältemittels zurückzuführen (Abbildung 9).

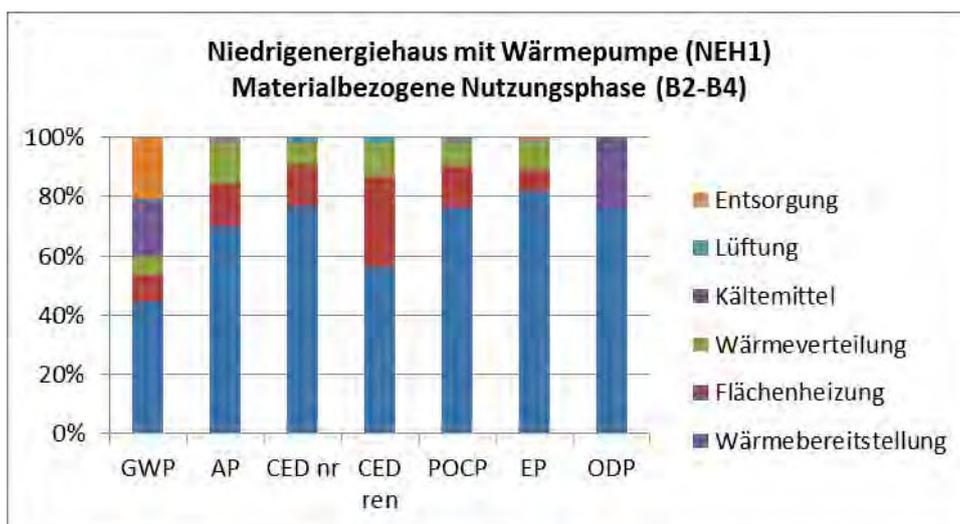


Abbildung 9: Ergebnisse der analysierten Indikatoren des Gebäudebetriebes Niedrigenergiehaus (Wärmepumpe)

7.2.2 Niedrigenergiehaus mit Pelletsheizung (NEH2)

Das Bild beim NEH2 ist vergleichbar mit jenem der Herstellung des NEH1, nur dass die Wärmebereitstellung (v.a. Pelletskessel und Warmwasserspeicher) mit kurzer Nutzungsdauer von 25 Jahren) noch relevanter wird. Die Entsorgung spielt mit Ausnahme des GWP aus der Kunststoffverbrennung kaum eine Rolle (Abbildung 10).

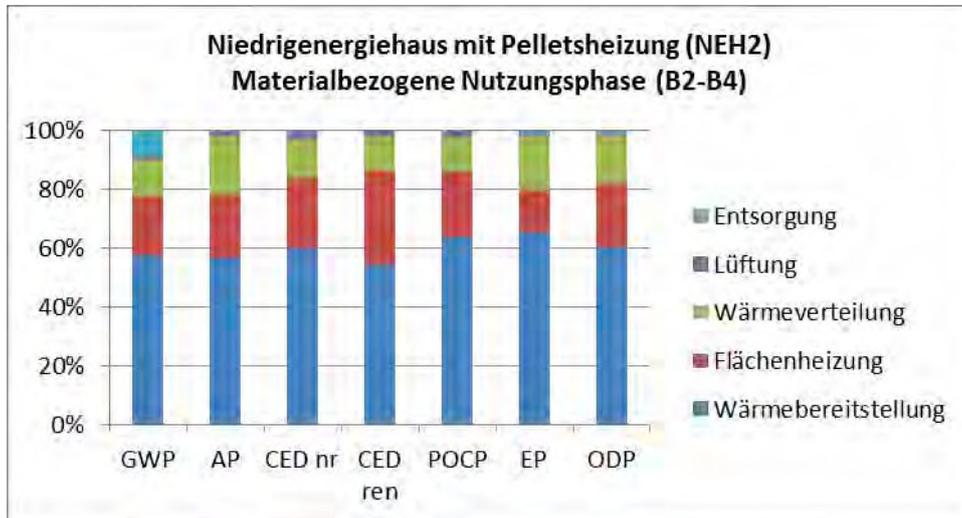


Abbildung 10: Ergebnisse der analysierten Indikatoren des Gebäudebetriebes Niedrigenergiehaus (Pellets)

7.2.3 Passivhaus mit Wärmepumpe (PH1)

Beim PH1 zeigt sich das vom NEH1 bekannte Bild: Die Entsorgung ist vernachlässigbar, nur beim GWP führen die R134a Emissionen zu relevanten Beiträgen, beim ODP ist es die Herstellung des Kältemittels (nicht die Emissionen), die den Beitrag liefert (Abbildung 11).

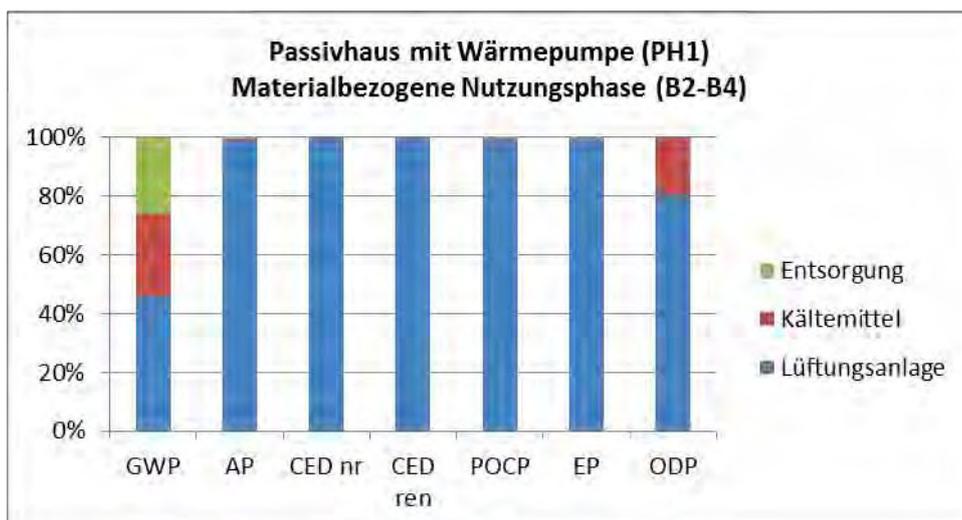


Abbildung 11: Ergebnisse der analysierten Indikatoren des Gebäudebetriebes Passivhaus (Wärmepumpe)

7.2.4 Passivhaus mit Pelletsheizung (PH2)

Die Lüftungsanlage ist beim PH2 etwa gleich aufwändig in der Herstellung der ausgetauschten Materialien wie die Wärmebereitstellung. Die GWP-Emissionen bei der Entsorgung sind auf die Kunststoffverbrennung zurückzuführen (Abbildung 12).

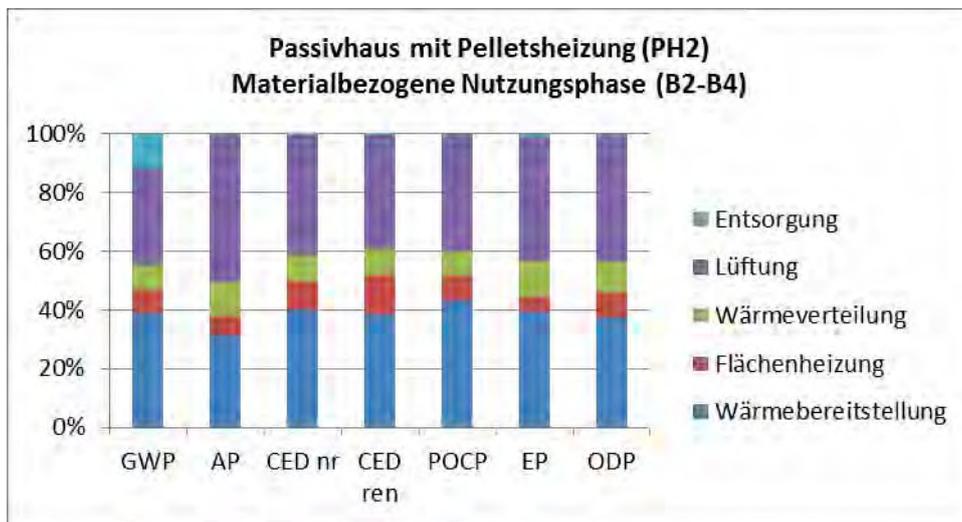


Abbildung 12: Ergebnisse der analysierten Indikatoren des Gebäudebetriebes Passivhaus (Pellets)

7.2.5 Sonnenhaus (SH)

Die materialbezogene Nutzungsphase des SH ist von der dreimaligen Erneuerung der thermischen Solaranlage geprägt (Abbildung 13). Ein Austausch des Solarspeichers ist nicht vorgesehen und nicht notwendig, da es zu keinerlei Korrosion kommen kann.

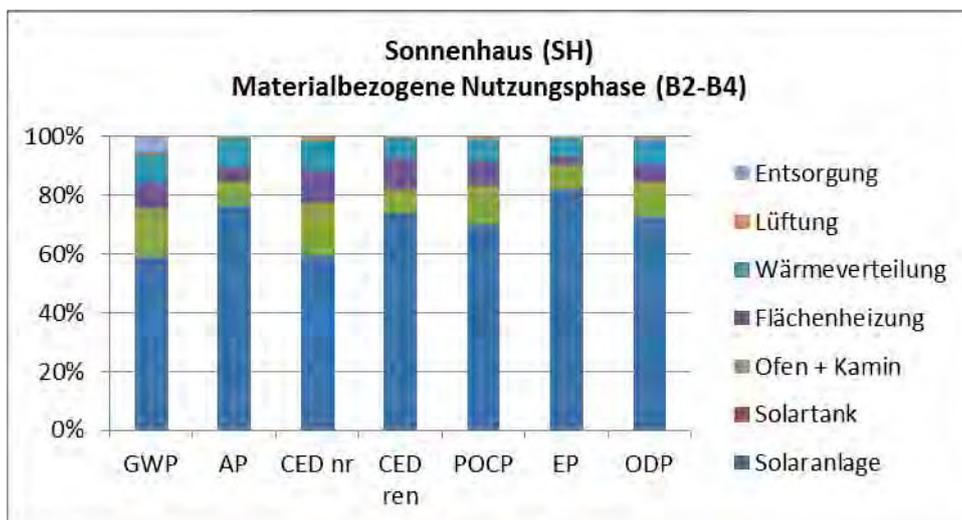


Abbildung 13: Ergebnisse der analysierten Indikatoren des Gebäudebetriebes Sonnenhaus

7.2.6 Plusenergiehaus (PEH)

Zum GWP der Entsorgung beim PEH tragen in erster Linie die diffusen R134a-Emissionen, im geringeren Ausmaß auch die Verbrennung der Kunststoffe bei. Das ODP wird durch die Herstellung des Kältemittels bestimmt (Abbildung 14).

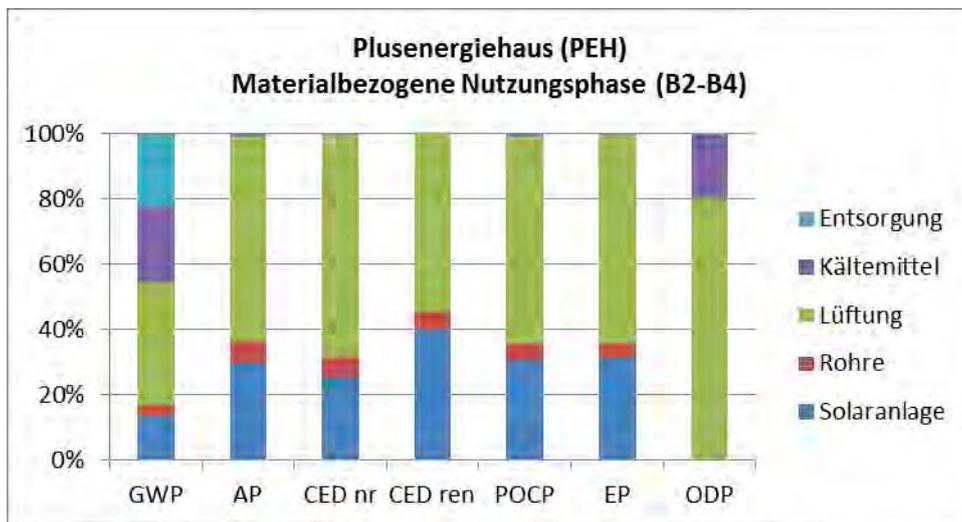


Abbildung 14: Ergebnisse der analysierten Indikatoren des Gebäudebetriebes Plusenergiehaus

7.3 Energiebezogene Nutzungsphase (B6)

Die Beiträge des Strom- und Biomassebedarfs zum Gebäudebetrieb im jeweiligen Indikator sind auf der nächsten Seite dargestellt.

Die Biomasse beheizten Gebäude weisen beim CED ren, CED total, AP und POCP höhere Belastungen auf als die Wärmepumpe betriebenen Varianten. Beim CED non ren, GWP und ODP ist die Lage umgekehrt. Das SH weist aufgrund der hohen Energiebedarfsdeckung durch Solarenergie und Biomasse außer beim POCP überall die geringsten Belastungen im Betrieb auf. Beim PEH ist allerdings zu berücksichtigen, dass die beim Strombedarf ausgewiesenen Werte durch die Eigenproduktion der PV-Anlage wieder wettgemacht werden.

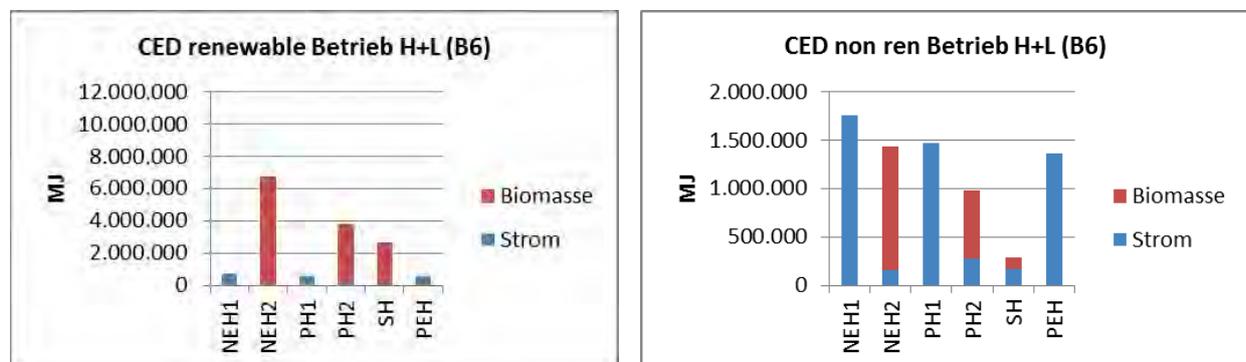


Abbildung 15: Vergleich des Primärenergiebedarfes erneuerbar und nicht erneuerbar aus dem Gebäudebetrieb aller Haustechnikvarianten

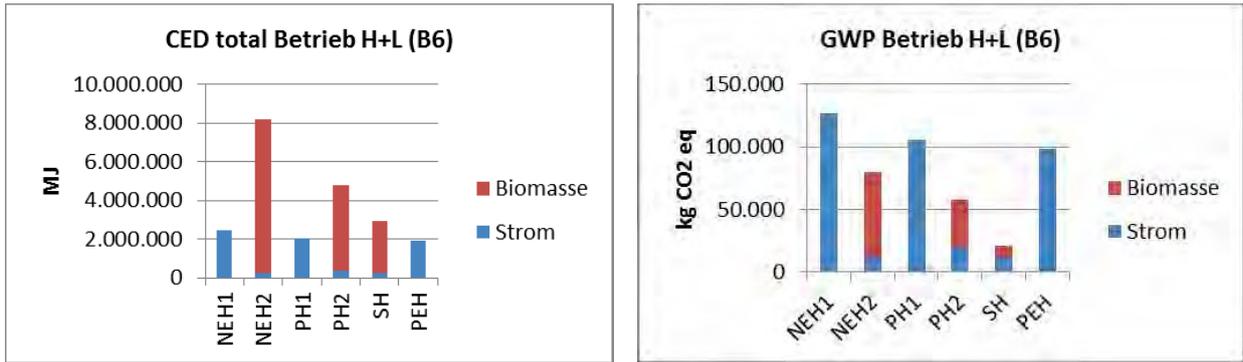


Abbildung 16: Vergleich des Primärenergiebedarfes gesamt und des Treibhauspotenzials aus dem Gebäudebetrieb aller Haustechnikvarianten

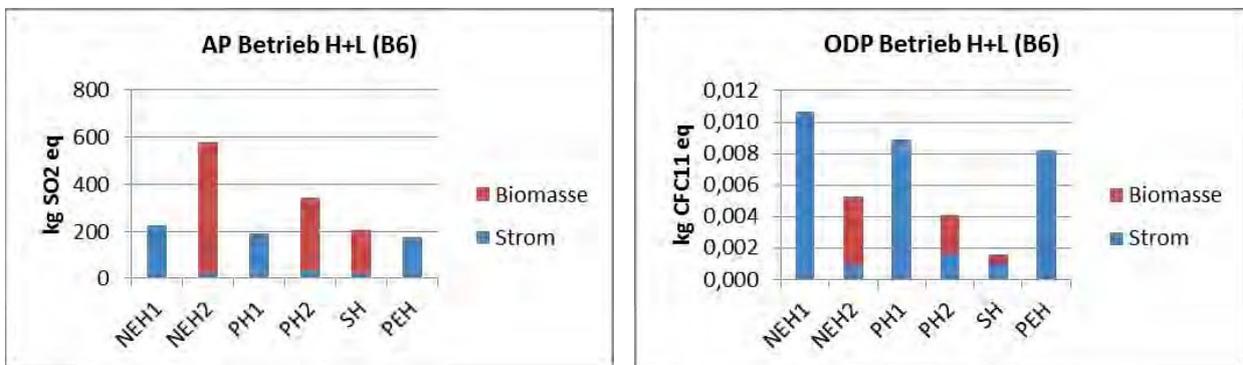


Abbildung 17: Vergleich des Versäuerungspotenzials und des Ozonbildungspotenzials aus dem Gebäudebetrieb aller Haustechnikvarianten

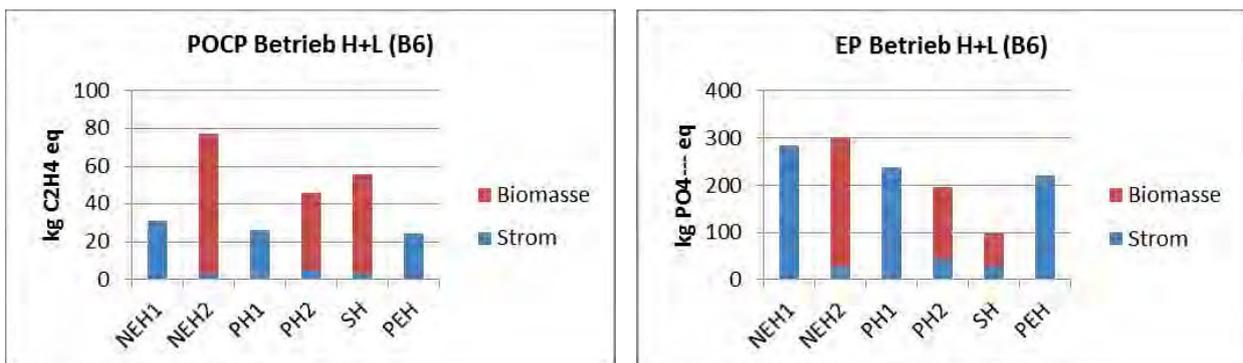


Abbildung 18: Vergleich des Potenzials zur Zerstörung stratosphärischen Ozons und des Eutrophierungspotenzials aus dem Gebäudebetrieb aller Haustechnikvarianten

7.4 Entsorgungsphasen Heizung und Lüftung

7.4.1 Entsorgung Heizung und Lüftung Phase B4 (Erneuerung / Umbau)

Ausschlaggebend beim GWP der Entsorgung der ausgetauschten Materialien sind vor allem die Verbrennung der Kunststoffe und die diffusen R134-Emissionen bei der Entsorgung (Annahme 20 %). Zweitere schlagen bei den Kompaktlüftungsgeräten mit integrierter Wärmepumpe (PH1 und PEH) besonders zu Buche, da hier die Wärmepumpe eine geringere Lebensdauer (20 Jahre wie Lüftungsgerät statt 25 Jahre) hat. Bei den anderen Indikatoren wirken sich die höheren Entsorgungsmengen (und die damit verbundenen höheren Transportaufwände) beim Sonnenhaus negativ aus (Abbildung 19).

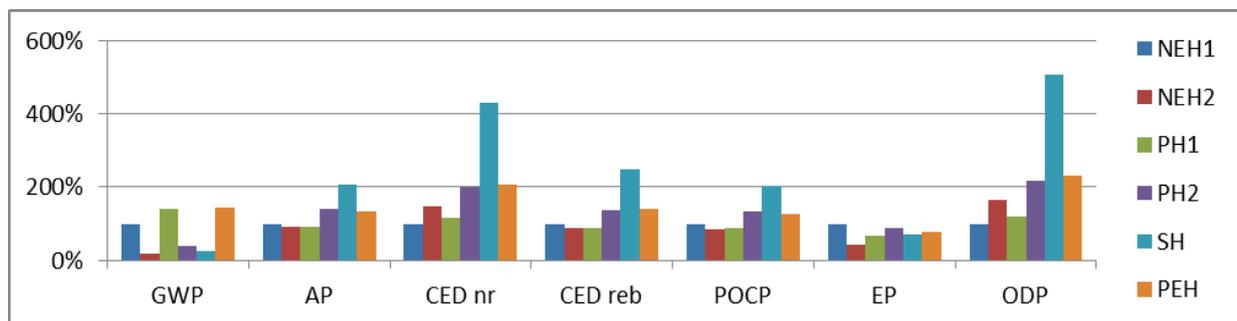


Abbildung 19: Vergleich der analysierten Indikatoren der Entsorgung Phase B4 (Erneuerung/Umbau) für Heizung und Lüftung aller Haustechnikvarianten

Ein Vergleich zwischen den einzelnen Indikatoren ist nicht zulässig, da es sich um verschiedene Wertebereiche handelt.

Insgesamt ist festzustellen, dass die Entsorgung der ausgetauschten Komponenten einen relativ geringen Anteil an den Indikatorwerten über den gesamten Lebenszyklus hat.

7.4.2 Entsorgung Heizung und Lüftung Phase C

Ausschlaggebend beim GWP für die Entsorgung der Gebäudekomponenten sind vor allem die Verbrennung der Kunststoffe und die diffusen R134-Emissionen bei der Entsorgung (Annahme 20 %).

PH1 und PEH profitieren bei der Entsorgung in den meisten Indikatoren davon, dass sie keinen Kamin haben (relativ große Entsorgungsmengen). Beim GWP wirken sich dagegen die diffusen R134a-Verluste bei der Entsorgung negativ aus (Abbildung 20). Beim Sonnenhaus machen sich die hohen Mengen an Kunststoff (Gehäuse des Solartanks, v.a. beim GWP) und die insgesamt hohen Entsorgungsmengen durch den Solartank bemerkbar (Abbildung 20).

Ein Vergleich zwischen den einzelnen Indikatoren ist auch hier nicht zulässig, da es sich um verschiedene Wertebereiche handelt.

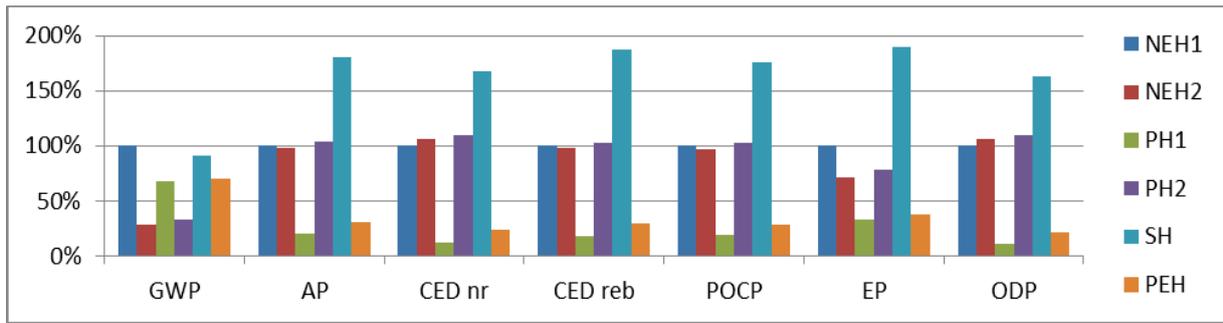


Abbildung 20: Vergleich der analysierten Indikatoren der Entsorgungsphase C für Heizung und Lüftung aller Haustechnikvarianten

Über den gesamten Lebenszyklus ist festzustellen, dass die Entsorgung einen relativ kleinen Beitrag zu den Indikatorwerten leistet.

8 Gesamtergebnisse aus dem Vergleich der Bilanzierungsdatenbanken (LCA) für drei ausgewählte Aufbauten

8.1 Beschreibung der Beispielaufbauten

Für den Vergleich der Bilanzierungsdatenbanken wurden die in Abbildung 21 bis 23 dargestellten Aufbauten herangezogen.

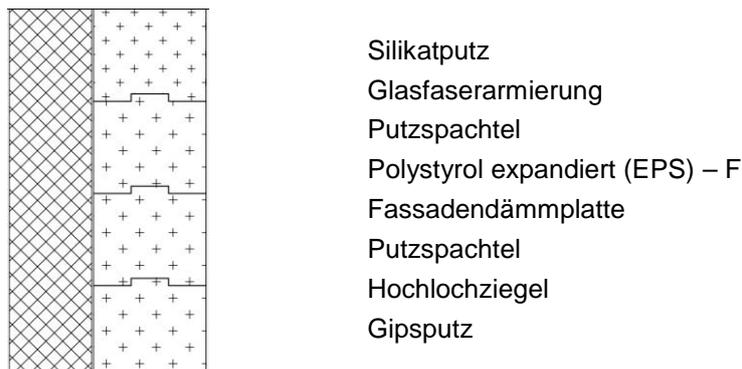
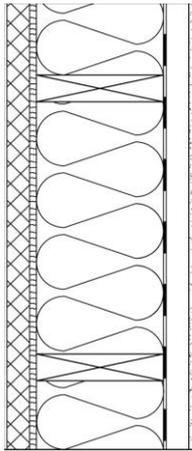
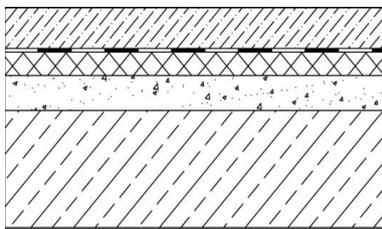


Abbildung 21: Beispielaufbau Außenwand aus Hochlochziegel mit Wärmedämmverbundsystem



Silikatputz
 Glasfaserarmierung
 Putzspachtel
 Polystyrol expandiert (EPS) –F- Fassadendämmplatte
 MDF-Platte
 Holz - Kantschnittholz
 Glaswolle MW-WF 50
 Polyethylenbahn
 Holz - Kantschnittholz
 Gipskartonplatte

Abbildung 22: Beispielaufbau Holzrahmenaußenwand



Estrichbeton
 Polyethylenbahn
 Polystyrol expandiert EPS-T 650
 Blähton-Schüttung
 Stahlbeton Decke
 Gipsspachtel

Abbildung 23: Beispielaufbau Stahlbetondecke mit Fußbodenkonstruktion

8.2 Ergebnisse aller Indikatoren für drei Beispielaufbauten

Die folgenden Vergleiche sind eine ergänzende Darstellung zur Beschreibung der möglichen Unterschiede in den Bilanzierungsergebnissen bei der Anwendung verschiedener Datenbanken. Der grüne Balken stellt immer den Mittelwert der beiden anderen Ergebniswerte dar.

8.2.1 Ziegelaußenwand (einheitlich mit UCTE-Strommix)

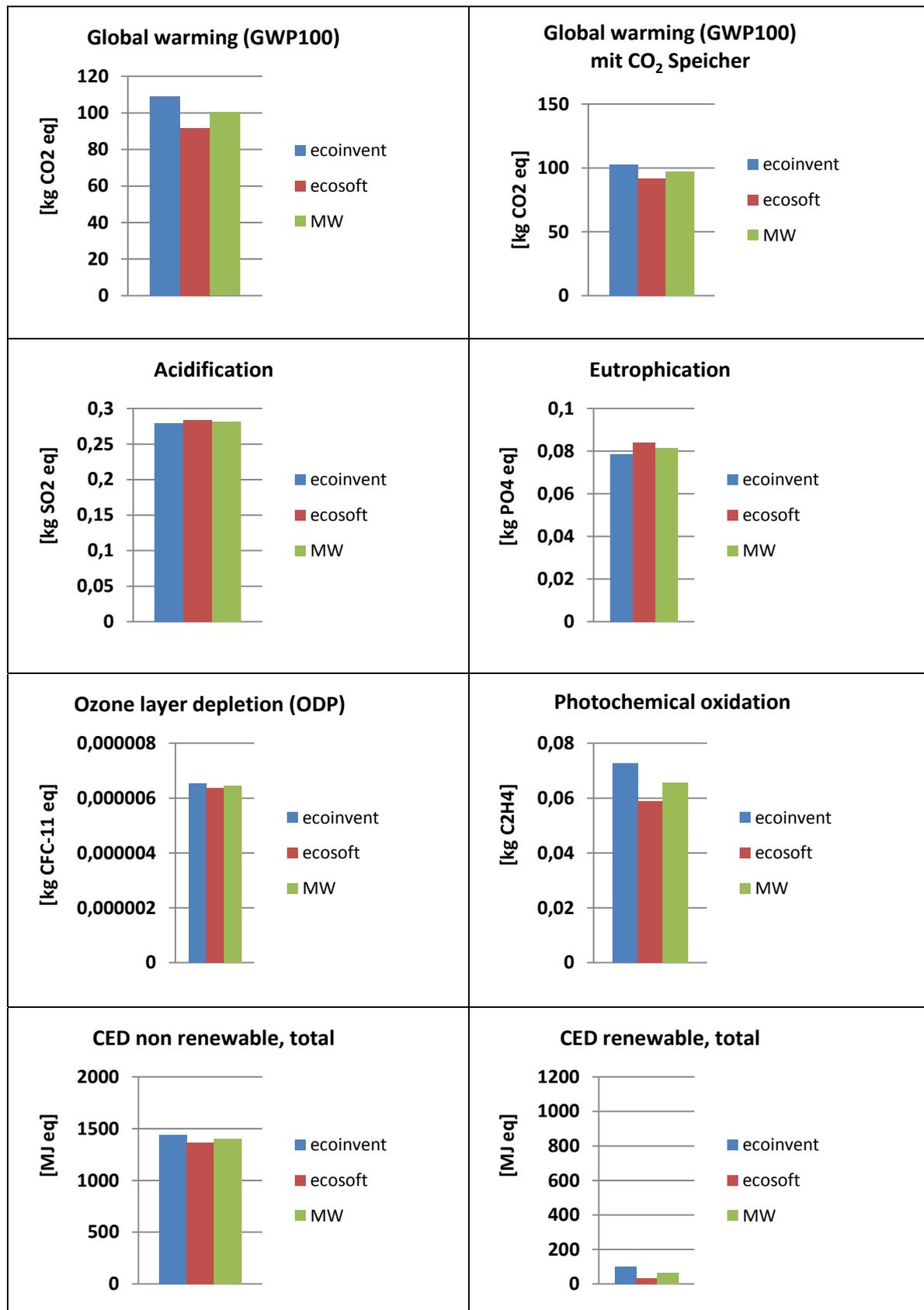


Abbildung 24: Vergleich der Ökoindikator-Ergebnisse von Ecosoft und Ecoinvent für Ziegelaußenwand mit WDVS (UCTE-Strommix)

8.2.2 Holzrahmenaußenwand (einheitlich mit UCTE Strommix)

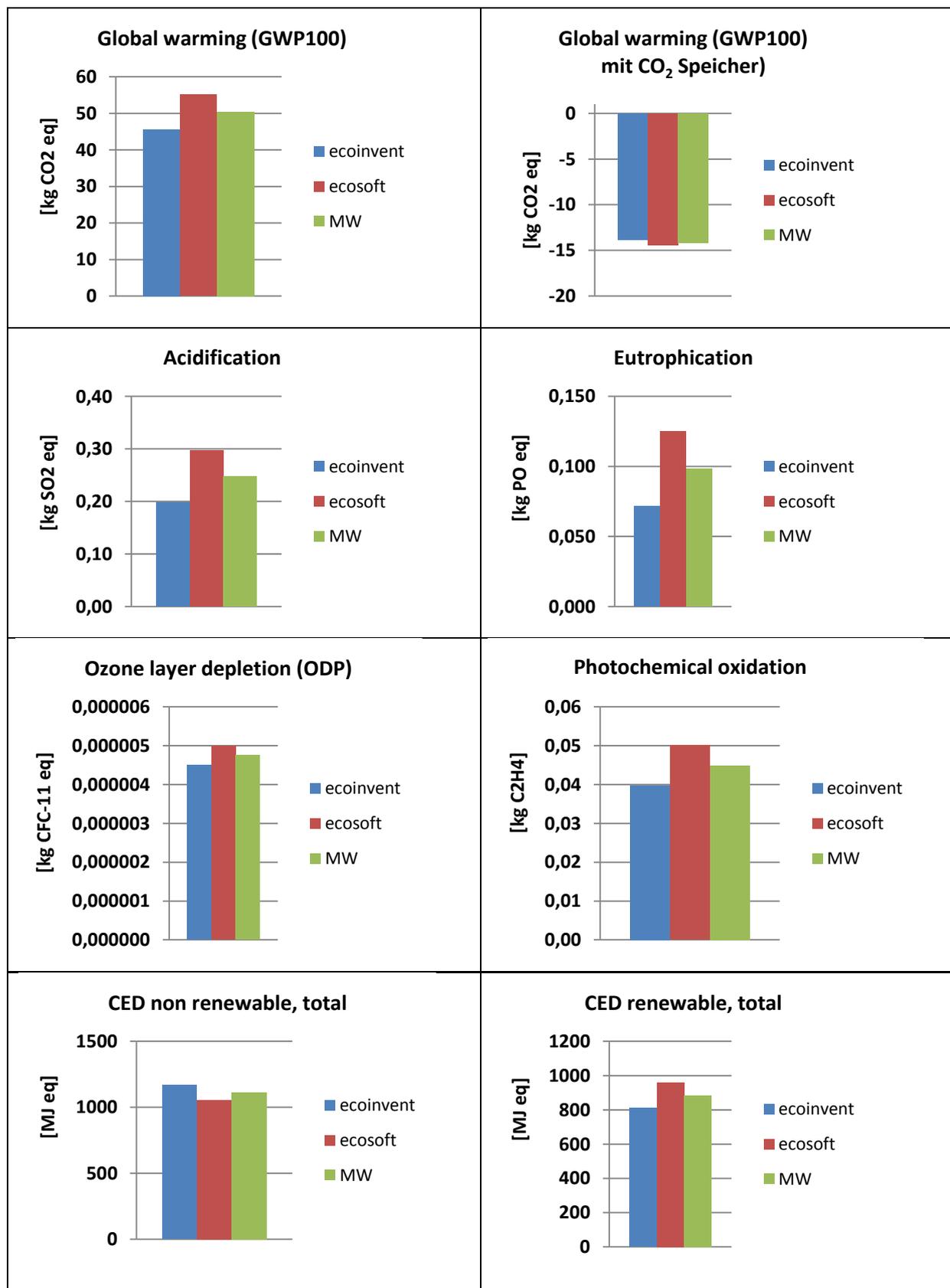


Abbildung 25: Vergleich der Ökoindikator-Ergebnisse von Ecosoft und Ecoinvent für Holzrahmenaußenwand (UCTE-Strommix)

8.2.3 Stahlbetondecke (einheitlich mit UCTE-Strommix)

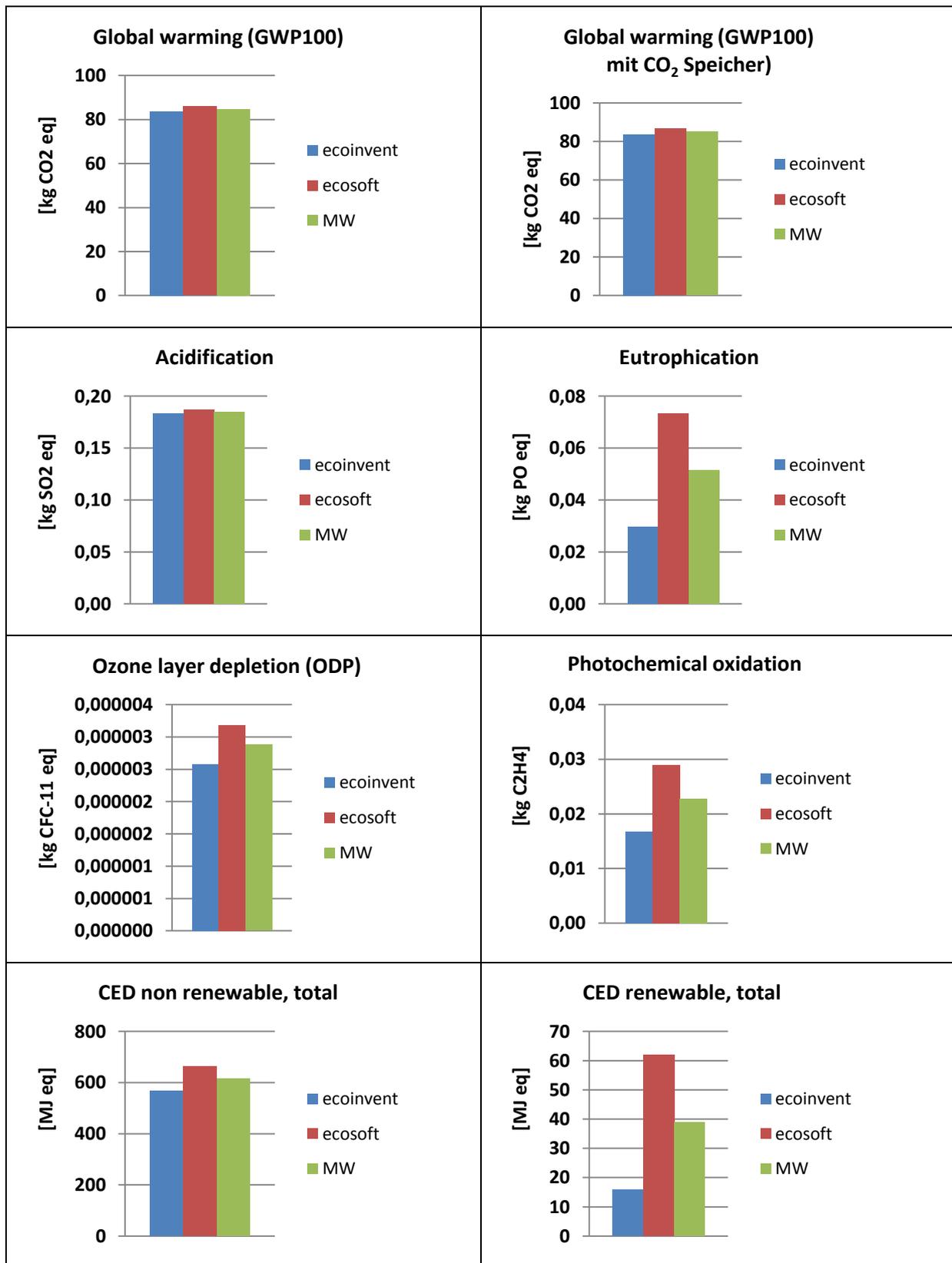


Abbildung 26: Vergleich der Ökoindikator-Ergebnisse von Ecosoft und Ecoinvent für Stahlbetondecke mit Fußballbodenkonstruktion (UCTE-Strommix)

8.2.4 Ziegelaußenwand (mit unterschiedlichem Strommix)

Bei der mit „ecoinvent AT“ bezeichneten Berechnung wurde ausschließlich für die Herstellung des Ziegels der österreichische statt des europäischen Strommix angenommen. Der Strommix für alle weiteren Materialien (Dämmung, Putz, etc.) blieb unverändert.

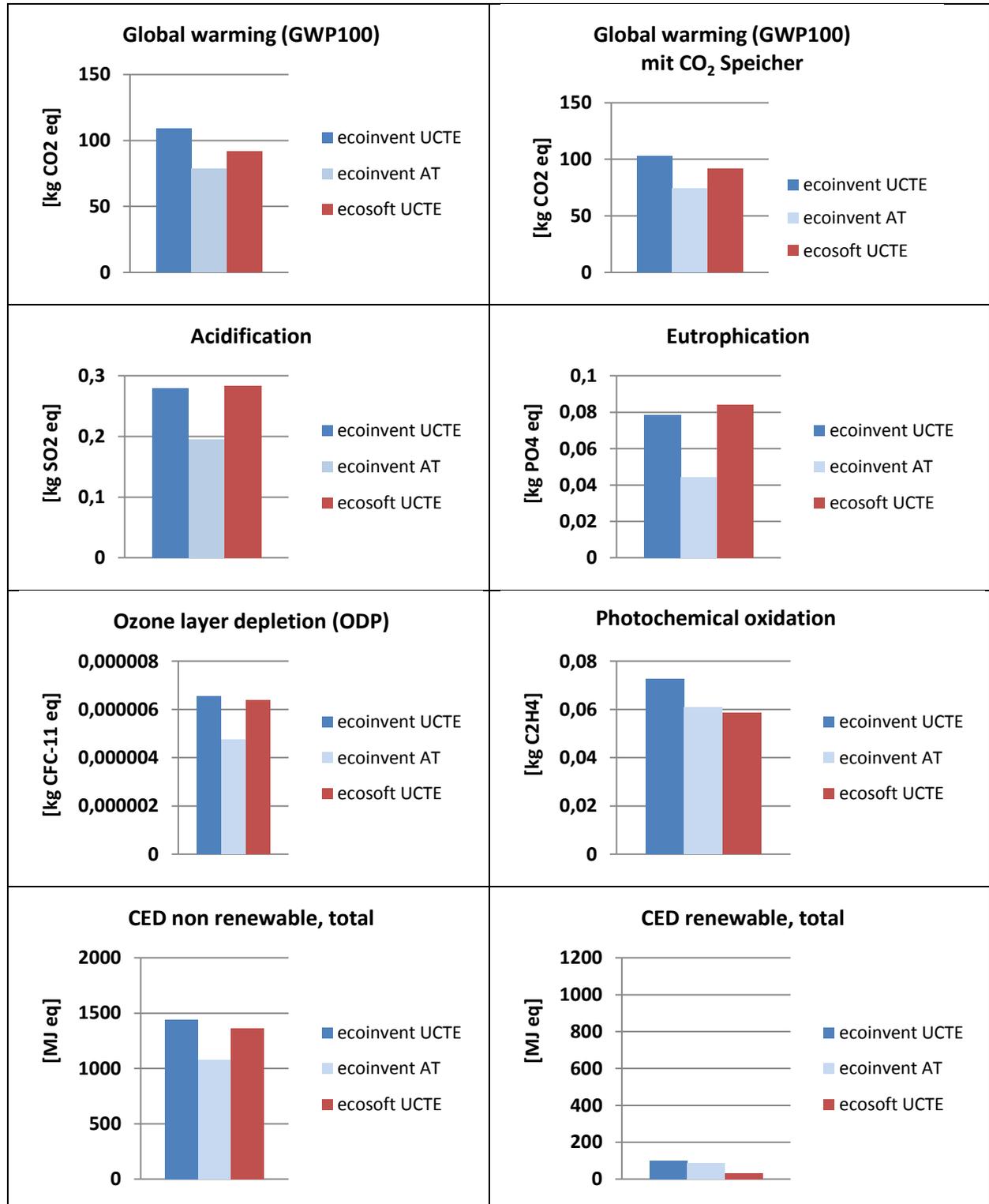


Abbildung 27: Vergleich der Ökoindikator-Ergebnisse von Ecosoft und Ecoinvent für Ziegelaußenwand mit WDVS (unterschiedlicher Strommix)

8.2.5 Holzrahmenaußenwand (mit unterschiedlichem Strommix)

Bei der mit „ecoinvent AT“ bezeichneten Berechnung wurde ausschließlich für die Herstellung des Schnittholz der österreichische statt des europäischen Strommix angenommen. Der Strommix für alle weiteren Materialien (Dämmung, Putz, Gipskarton, etc.) blieb unverändert.

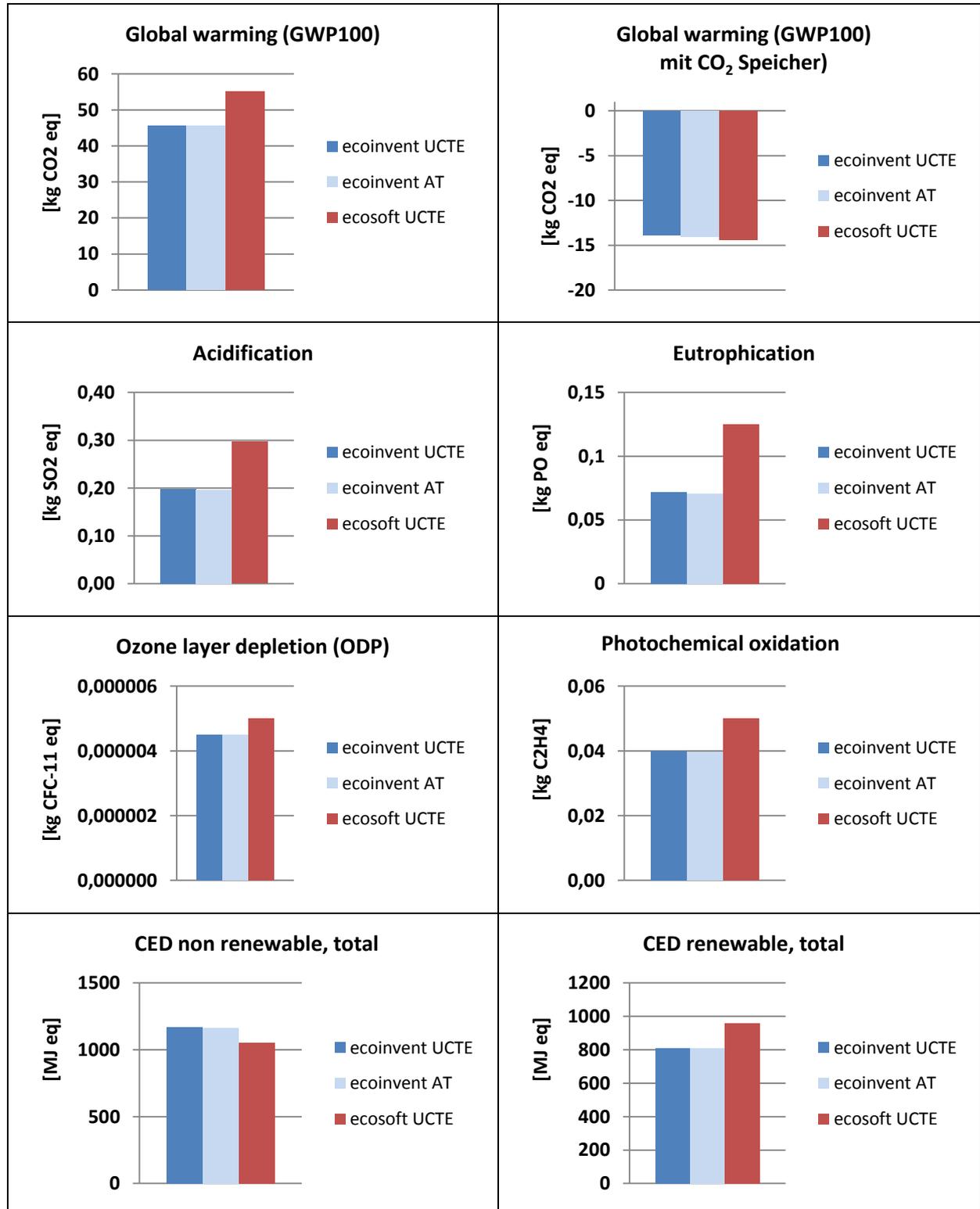


Abbildung 28: Vergleich der Ökoindikator-Ergebnisse von Ecosoft und Ecoinvent für Holzrahmenaußenwand (unterschiedlicher Strommix)

9 Verzeichnisse

9.1 Literatur- und Quellenverzeichnis

- ÖNORM EN 15978 / 2012-10-01: *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode*; Österreichisches Normungsinstitut 2012
- ÖNORM EN 15804 / 2012-04-01: *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundlagen für die Produktkategorie Bauprodukte*; Österreichisches Normungsinstitut 2012
- ÖNORM B 1800 / 2011-12-01: *Ermittlung von Flächen und Rauminhalten von Bauwerken*; Österreichisches Normungsinstitut 2011
- ÖNORM B 1801-1 / 2009-06-01: *Bauprojekt und Objektmanagement, Teil 1: Objekterrichtung*; Österreichisches Normungsinstitut 2009
- ÖNORM EN 15643-4 / 2012-03-15: *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden, Teil 4: Rahmenbedingungen für die Bewertung der ökonomischen Qualität*; Österreichisches Normungsinstitut 2012
- International Standard ISO 15392 / 2008-05-01: *Sustainability in building construction – general principles*; International Organisation for Standardization 2008
- ÖNORM EN 15221-6 / 2011-12-01: *Facility Management, Teil 6: Flächenbemessung im Facility Management*; Österreichisches Normungsinstitut 2011
- Friskhnecht, R.; et al.: *Overview and Methodology,ecoinvent report No. 1*; 2007

9.2 Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Exemplarische Darstellung des Treibhauspotenzials über den Lebenszyklus eines Holzgebäudes.....</i>	<i>34</i>
<i>Abbildung 2: Exemplarische Darstellung des Primärenergieeinsatzes über den Lebenszyklus eines Holzgebäudes.....</i>	<i>35</i>
<i>Abbildung 3: Ergebnisse der analysierten Indikatoren der Herstellungsphase Niedrigenergiehaus (Wärmepumpe).....</i>	<i>48</i>
<i>Abbildung 4: Ergebnisse der analysierten Indikatoren der Herstellungsphase Niedrigenergiehaus (Pellets)</i>	<i>49</i>
<i>Abbildung 5: Ergebnisse der analysierten Indikatoren der Herstellungsphase Passivhaus (Wärmepumpe).....</i>	<i>49</i>
<i>Abbildung 6: Ergebnisse der analysierten Indikatoren der Herstellungsphase Passivhaus (Pellets)...</i>	<i>50</i>
<i>Abbildung 7: Ergebnisse der analysierten Indikatoren der Herstellungsphase Sonnenhaus</i>	<i>50</i>
<i>Abbildung 8: Ergebnisse der analysierten Indikatoren der Herstellungsphase Plusenergiehaus.....</i>	<i>51</i>
<i>Abbildung 9: Ergebnisse der analysierten Indikatoren des Gebäudebetriebes Niedrigenergiehaus (Wärmepumpe).....</i>	<i>51</i>
<i>Abbildung 10: Ergebnisse der analysierten Indikatoren des Gebäudebetriebes Niedrigenergiehaus (Pellets)</i>	<i>52</i>
<i>Abbildung 11: Ergebnisse der analysierten Indikatoren des Gebäudebetriebes Passivhaus (Wärmepumpe).....</i>	<i>52</i>
<i>Abbildung 12: Ergebnisse der analysierten Indikatoren des Gebäudebetriebes Passivhaus (Pellets)</i>	<i>53</i>
<i>Abbildung 13: Ergebnisse der analysierten Indikatoren des Gebäudebetriebes Sonnenhaus</i>	<i>53</i>
<i>Abbildung 14: Ergebnisse der analysierten Indikatoren des Gebäudebetriebes Plusenergiehaus</i>	<i>54</i>
<i>Abbildung 15: Vergleich des Primärenergiebedarfes erneuerbar und nicht erneuerbar aus dem Gebäudebetrieb aller Haustechnikvarianten</i>	<i>54</i>

Abbildung 16: Vergleich des Primärenergiebedarfes gesamt und des Treibhauspotenzials aus dem Gebäudebetrieb aller Haustechnikvarianten	55
Abbildung 17: Vergleich des Versäuerungspotenzials und des Ozonbildungspotenzials aus dem Gebäudebetrieb aller Haustechnikvarianten	55
Abbildung 18: Vergleich des Potenzials zur Zerstörung stratosphärischen Ozons und des Eutrophierungspotenzials aus dem Gebäudebetrieb aller Haustechnikvarianten	55
Abbildung 19: Vergleich der analysierten Indikatoren der Entsorgung Phase B4 (Erneuerung/Umbau) für Heizung und Lüftung aller Haustechnikvarianten	56
Abbildung 20: Vergleich der analysierten Indikatoren der Entsorgungsphase C für Heizung und Lüftung aller Haustechnikvarianten	57
Abbildung 21: Beispielaufbau Außenwand aus Hochlochziegel mit Wärmedämmverbundsystem	57
Abbildung 22: Beispielaufbau Holzrahmenaußenwand	58
Abbildung 23: Beispielaufbau Stahlbetondecke mit Fußbodenkonstruktion	58
Abbildung 24: Vergleich der Ökoindikator-Ergebnisse von Ecosoft und Ecoinvent für Ziegelaußenwand mit WDVS (UCTE-Strommix)	59
Abbildung 25: Vergleich der Ökoindikator-Ergebnisse von Ecosoft und Ecoinvent für Holzrahmenaußenwand (UCTE-Strommix)	60
Abbildung 26: Vergleich der Ökoindikator-Ergebnisse von Ecosoft und Ecoinvent für Stahlbetondecke mit Fußbodenkonstruktion (UCTE-Strommix)	61
Abbildung 27: Vergleich der Ökoindikator-Ergebnisse von Ecosoft und Ecoinvent für Ziegelaußenwand mit WDVS (unterschiedlicher Strommix)	62
Abbildung 28: Vergleich der Ökoindikator-Ergebnisse von Ecosoft und Ecoinvent für Holzrahmenaußenwand (unterschiedlicher Strommix)	63

9.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zuordnung der Materialfraktionen zu Entsorgungsprozessen	9
Tabelle 2: Aufstellung der verwendeten Module zur Bilanzierung der Haustechnik (LCA)	10
Tabelle 3: Bewertungsprozess der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden	15
Tabelle 4: Darstellung der einzelnen Module für die unterschiedlichen Lebenszyklusphasen eines Gebäudes	18
Tabelle 5: Berücksichtigte Bauteile zur Bewertung der ökologischen Qualität	25
Tabelle 6: Indikatoren zur Beschreibung der Umweltwirkungen	27
Tabelle 7: Indikatoren zur Beschreibung der Verwendung von Ressourcen	28
Tabelle 8: Lebenszyklusphasen laut EN 15978	28
Tabelle 9: Angenommene Transportweiten für verschiedene Kategorien von Baumaterialien	30
Tabelle 10: Materialverluste bei der Errichtung von Gebäuden	30
Tabelle 11: Entsorgungsszenarien für wichtige Baustoffe (basierend auf EcoSoft-Entsorgungsmodulen)	32
Tabelle 12: Darstellung der einzelnen Module für die ökonomische Bewertung eines Gebäudes	38
Tabelle 13: Kostengruppierung nach ÖNORM B 1801-1	41
Tabelle 14: Kosten und Gewinne für Energie	44
Tabelle 15: Zinssätze für die Berechnung der Lebenszykluskosten	44