

Innovative Gebäudekonzepte im ökologischen und ökonomischen Vergleich über den Lebenszyklus

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

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

51/2014

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

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

Kurzfassung	9
Abstract	10
1 Einleitung.....	11
1.1 Inhalt des Forschungsprojektes „Ökovergleich“	11
1.2 Zielsetzungen im Projekt.....	11
1.3 Projektgrundlagen.....	12
2 Hintergrundinformationen zum Projektinhalt	15
2.1 Beschreibung des Standes der Technik.....	15
2.2 Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema.....	17
2.3 Beschreibung der Neuerungen sowie ihrer Vorteile gegenüber dem Ist-Stand (Innovationsgehalt des Projekts).....	17
2.4 Verwendete Methoden.....	18
2.5 Vorgehensweise und verwendete Daten.....	18
2.5.1 Arbeitsschritte im Projekt.....	19
2.5.2 Indikatoren der ökologischen Bilanzierung	19
2.5.3 Vorgehensweise bei der Ökobilanzierung (LCA) der Haustechnik	20
2.5.4 Vorgehensweise bei der Ökobilanzierung der Massivgebäudevarianten (LCA).....	21
2.5.5 Vorgehensweise bei der Ökobilanzierung der Holzgebäudevarianten (LCA).....	21
2.5.6 Vorgehensweise bei der Berechnung der Lebenszykluskosten (LCC) aller Gebäudevarianten.....	22
3 Ergebnisse des Projektes	22
3.1 Ergebnisse der Ökobilanzierung LCA	23
3.1.1 LCA Haustechnik.....	23
3.1.2 LCA Ziegelgebäude.....	30
3.1.3 LCA Betongebäude	33
3.1.4 LCA Holzspangebäude.....	37
3.1.5 LCA Holzgebäude	39
3.1.6 Ergänzende Informationen außerhalb des Lebenszyklus (Modul D)	45
3.1.7 Quervergleich der LCA-Ergebnisse über die Gebäudevarianten	48
3.2 Vergleich von Bilanzierungssystemen.....	55
3.2.1 Gliederung der Ökobilanzierung nach Bilanzgegenstand	55

3.2.2	Vergleich Ecosoft / Ecoinvent	57
3.3	Vergleichende Betrachtung von Zertifizierungssystemen	62
3.3.1	Der klima:aktiv Gebäudestandard	64
3.3.2	Total Quality Building Standard 2010 (TQB)	65
3.3.3	DGNB / ÖGNB-Zertifizierung	67
3.3.4	Der IBO Ökopass	69
3.3.5	Zusammenfassender Überblick	70
3.4	Ergebnisse der Lebenszyklus-Kostenbilanzierung (LCC).....	71
4	Detailangaben in Bezug auf die Ziele des Programms.....	76
4.1	Einpassung in das Programm	76
4.2	Beitrag zum Gesamtziel des Programms	76
4.3	Einbeziehung der Zielgruppen (Gruppen, die für die Umsetzung der Ergebnisse relevant sind) und Berücksichtigung ihrer Bedürfnisse im Projekt	77
4.4	Beschreibung der Umsetzungs-Potenziale (Marktpotenzial, Verbreitungs- bzw. Realisierungspotenzial) für die Projektergebnisse.....	77
5	Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen	78
6	Ausblick und Empfehlungen	80
7	Verzeichnisse	82
7.1	Literatur- und Quellenverzeichnis	82
7.2	Relevante Normen und Richtlinien.....	83
7.3	Software	83
7.4	Abbildungsverzeichnis	84
7.5	Tabellenverzeichnis	86
7.6	Abkürzungsverzeichnis	86
7.7	Begriffsdefinitionen	87
7.8	Kurzbeschreibung der Umweltindikatoren der Ökobilanz (LCA).....	90

Kurzfassung

Ausgehend von der kontrovers diskutierten Frage, welche Bauweise mit welchem Energiestandard und mit welcher haustechnischen Ausstattung eigentlich die umweltschonendste sei, entstand die Idee zu einem umfassenden Variantenvergleich. Die baustoffrelevanten Institute der Austrian Cooperative Research (ACR) haben sich gemeinsam im Projekt „Ökovergleich“ dieses Themas angenommen.

Die vier hauptsächlich zur Anwendung kommenden Bauweisen (Ziegel-, Beton-, Holzspanbeton- und Holzrahmen- bzw. Holzmassivbauweise) wurden mit den inzwischen gängigen Energiestandards für Neubauten in Kombination gesetzt. Zusätzlich wurde die Fragestellung auf verschiedene haustechnische Systeme (Pelletsheizung, Wärmepumpe, Solarwärme, Photovoltaik usw.) erweitert. Aus dieser Kombination entstanden schließlich 45 Gebäudevarianten, die anhand eines standardisierten Gebäudeplanes ausgelegt wurden. Für diese Gebäudevarianten wurden die Umweltwirkungen in einer Ökobilanz (LCA) über eine angenommene Gebäudelebensdauer von 100 Jahren abgeschätzt und ihre Kosten über einen Bilanzierungszeitraum von 50 Jahren nach der Barwertmethode berechnet. Mit den Ergebnissen sollte die erwähnte Fragestellung beantwortet werden.

Die gewählten Gebäudevarianten wurden mittels Energieausweisprogrammen berechnet und ihre Aufbauten auf einen einheitlichen Heizwärmebedarf hin dimensioniert. Anhand der erstellten Planunterlagen für jede Bauweise und ihre Energiestandards erstellte ein großes Bauunternehmen Leistungsverzeichnisse für die Gebäude, deren Haustechnik, Elektrotechnik und Sanitärausstattung, welche die Mengen, Einheiten und Einheitspreise enthielten. Nach der Verifizierung wurden auf Basis einer tabellarischen Aufstellung die Ökobilanzen erstellt und die Lebenszykluskosten berechnet. Die Ergebnisse wurden abschließend in Form von Grafiken ausgewertet und im Bericht dargestellt.

Die Bilanzergebnisse zeigen, dass keine der Bauweisen eine klare Antwort auf die gestellten Fragen hat. Insgesamt zeigt sich, dass die verwendeten Baustoffe kaum einen Einfluss auf das Gesamtergebnis haben. Wesentlich scheint sich hingegen der Energiestandard auf das Ergebnis auszuwirken. Die Umweltindikatoren sind in ihren Ergebniswerten allerdings unterschiedlich stark durch verschiedene Haustechnikvarianten belastet, eine klare Antwort zugunsten oder wider eine bestimmte Variante gibt es auch hier nicht.

So unbefriedigend diese Ergebnisse auch auf den ersten Blick sein mögen, so zufriedenstellend sind sie beim zweiten Hinsehen. Wenn für unsere Neubauten einen hohen Effizienzstandard hinsichtlich des Energiebedarfes (Gesamtenergieeffizienz) als verpflichtend angesetzt wird, ist dies ein guter Weg. Und das wiederum bedeutet: Wir haben nichts falsch gemacht, wenn Niedrigenergie-, Sonnenhaus-, Passivhaus- oder Plusenergiehausstandard eingehalten werden. Es ist immer eine Frage, für welchen Standort und für welche Bedürfnisse bei welchen Gegebenheiten ein Objekt geplant wird, und dass daneben vor allem die Nutzungssicherheit der Haustechnik und das Nutzerverhalten Beachtung finden. Nur so können theoretisch berechnete Effizienzwerte auch in der Realität eingehalten werden.

Abstract

The controversial issue which construction type in combination with which energetic standard and which building equipment and appliances will prove itself to be environmentally the most friendly gave birth to the idea of a comprehensive comparison of the variant types. The departments of Austrian Cooperative Research (ACR) specialized in building materials and other relevant fields have jointly been working on this task in the common project "Ecological Analysis".

The four main construction types (brick, concrete, wood-chip concrete and prefab timber frame or solid wood construction) were combined with so far well-established energetic standards for new buildings. In addition the studies were stretched out over different systems of building equipment and appliances (wood pellets heating, heat pump, solar heating, photovoltaics etc.). These combinations finally led to 45 building types, the configuration of which was set up on a standard plan lay-out. The environmental impacts of all these building types were evaluated in an ecobalance (LCA) based on an assumptive life time of 100 years and their costs calculated by cash method over an accounting period of 50 years. The results were expected to answer the above mentioned questions.

The chosen building types were calculated with the help of programs used for energy performance certificates and their superstructures standardized for a uniform heating demand. On the basis of the plans provided for each building type and its energetic standard a big construction company compiled service specifications for the buildings, their equipment and appliances, electro-techniques and sanitary accessories, containing quantities, units and standard prices. After a check-up the ecobalance was set up with the help of tabulation and life cycle costs calculated. In the end the results were plotted and described in the report.

The balance sheets show that none of the building types offers a clear answer for the questions put forward. As a whole the building materials used have only little influence on the total result. The energetic standard, however, seems to affect the result substantially. The results with respect to environmental indicators vary due to different utilities management systems, an explicit answer in favour of or against a certain variety cannot be given here either.

At first sight this results seem to be very disappointing, but at a second glance it prove to be satisfactory. If a high efficiency standard in energy demand (total energy efficiency) is obligatory for new buildings, it's the right direction. And this implies that we have done nothing wrong while adhering to low-energy, solar-energy, passive house or positive energy building standards. The question remains for which site and needs in which circumstances an object is planned, and additionally we should focus on the security in use of the utilities as well as to the user behaviour. Only in that case efficiency figures calculated in theory can be reached in reality.

1 Einleitung

Ausgehend von der ewigen Streitfrage, welcher Baustoff und welches Gebäudekonzept nun eigentlich und wirklich der bzw. das bessere, umweltverträglichere und kostengünstigere sei, entstand die Idee, diese nun ein für alle Mal zu beantworten. In der ACR (Austrian Cooperative Research) gibt es eine Schwerpunktgruppe, die sich dem Themenkomplex *Nachhaltiges Bauen* widmet. Diese größte Schwerpunktgruppe der ACR umfasst rund zehn Forschungsinstitute und vor allem solche, die die fraglichen Baustoffe vertreten, weil sie für deren Industrien Forschung, Entwicklung und Innovationsunterstützung betreiben. Aus dieser Tatsache kristallisierten sich die maßgeblichen Baustoffexperten als Projektpartner heraus: das Bau-technische Institut Linz (BTI), die Bautechnische Versuchs- und Forschungsanstalt Salzburg (bvfs), das Forschungsinstitut der Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie (VÖZfi) und die Holzforschung Austria (HFA). Das Österreichische Forschungsinstitut für Chemie und Technik (OFI) übernahm im Projekt die haustechnischen Agenden und das Österreichische Institut für Baubiologie und Bauökologie (IBO) erstellte die Ökobilanz für die Haustechnik. Die Projektleitung wurde in die baustoffneutralen Hände der Forschungsgesellschaft für Wohnen, Bauen und Planen (FGW) gelegt. Ökobilanzierer waren die HFA und das Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie der TU Graz. Die Ausarbeitung der einzelnen Kostenkalkulationen erfolgte in Kooperation mit externen Experten der österreichischen Bauwirtschaft (Porr AG) und die Kostenbilanzierung über den Lebenszyklus (LCC) erstellte ebenfalls die TU Graz.

1.1 Inhalt des Forschungsprojektes „Ökovergleich“

Im Zuge des vorliegenden Forschungsprojektes wurden verschiedene Gebäudetypen mit der dazugehörigen Haus- und Energietechnik in unterschiedlicher baulicher Ausführung miteinander verglichen. Als Gebäudekonzepte wurden das Niedrigenergiehaus, das Sonnenhaus, das Passivhaus und das Plusenergiehaus betrachtet. Als Bauweisen wurden verschiedene Ziegel-, Beton-, Holzfaserbeton- und Holzgebäude angenommen. Aus den festgelegten Energiestandards wurden geeignete Haustechniksysteme entwickelt und mit den unterschiedlichen Bauweisen kombiniert. Daraus entstanden in Summe 45 Gebäudevarianten, die einer Bewertung hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen (Ökobilanz = LCA) über einen angesetzten Gebäudelebenszyklus von 100 Jahren sowie hinsichtlich ihrer Kostenaufwendungen über einen Lebenszyklus (LCC) von 50 Jahren bilanziert und beurteilt wurden.

1.2 Zielsetzungen im Projekt

Im Vordergrund stand zunächst vor allem die Schaffung einer objektiven Wissensgrundlage durch das Projektkonsortium. Anhand der umfangreichen erhobenen Daten wird mit diesem Projekt ein relevanter Beitrag zur Weiterentwicklung und Verbreitung innovativer Gebäudekonzepte (Plusenergiehaus, Sonnenhaus) und zur Evaluierung unterschiedlicher Bauweisen mit Blick auf die gesamte Gebäudelebensdauer geleistet. Damit sollen die gegenwärtig er-

heblichen Wissens- und Datenlücken, unter anderem in Hinblick auf Fragen des Primärenergiebedarfs unterschiedlicher Baumaterialien und baulicher Konzepte, auf weitere ökologische Kennzahlen von Baustoffen oder auch auf die (u.a. ökonomische) Effizienz haustechnischer Konzepte gefüllt werden.

Die haustechnischen Komponenten und Energiebedarfe über die angesetzte Lebensdauer des Gebäudes wurden gesondert bilanziert, damit ihr Einfluss auf die Gesamtergebnisse sichtbar wird. Die Ergebnisse der Ökobilanzierung von Haustechnik- und Betriebsvarianten anhand des analysierten Modellgebäudes sollen vornehmlich für folgende Auswertungen herangezogen werden:

- Dominanzanalyse der Haustechnikkomponenten in den unterschiedlichen Systemen (vorliegendes Teilprojekt, siehe Kapitel 3.1.1 und Anhang 1)
- Dominanzanalyse der Haustechniksysteme im Gebäude
- Vergleich der Gebäude untereinander

Die Dominanzanalyse der Haustechnikkomponenten umfasst Analysen, welche Haustechnikkomponenten in welchen Lebensphasen bei welchen Indikatoren relevant sind. Die Ergebnisse wurden in die weiteren Berechnungen und Auswertungen auf Ebene der Gebäudevarianten eingebunden.

1.3 Projektgrundlagen

Auf Basis der realen Projektplanung eines Sonnenhauses in Deutschland wurde das Gebäude auf unterschiedliche Gebäudevarianten umgelegt. Die Außenabmessungen sind mit 8,50 / 13,00 m im Grundriss bei allen Varianten ident, der Keller ist ebenfalls ident in Stahlbeton angenommen und die Gebäudehöhe bzw. die Dachausbildung ist gleich. Lediglich die Dämmstärke ist bei Passiv- und Plusenergiehäusern höher als bei den Niedrigenergiehäusern. Aus diesem Umstand ergeben sich bei den unterschiedlichen Gebäudevarianten bei gleicher Bruttogeschoßfläche differierende Nettonutzflächen in Abhängigkeit von der jeweiligen Wandstärke der Außenwände.

Sechs Gebäudekonzepte wurden untersucht:

- | | |
|---|--|
| • Niedrigenergiehaus in zwei Haustechnikvarianten (NEH1 und NEH2) | HWB _{Ref} ca. 40 kWh/m ² a |
| • Sonnenhaus (SH) | HWB _{Ref} ca. 40 kWh/m ² a |
| • Passivhaus in zwei Haustechnikvarianten (PH1 und PH2) | HWB _{Ref} ca. 10 kWh/m ² a |
| • Plusenergiehaus (PEH) | HWB _{Ref} ca. 10 kWh/m ² a |

und zwar mit unterschiedlichen Baustoffvarianten:

- Ziegel mit Wärmedämmverbundsystem (WDVS)
- Ziegel einschalig
- Beton mit WDVS
- Holzspanbeton mit WDVS in zwei Varianten unterschiedlicher Dämmmaterialien
- Holzspanbeton einschalig
- Holzmassiv mit Mineralwollgedämmung
- Holzsteher mit Zellulosedämmung
- Holzsteher mit Mineralwollgedämmung

Tabelle 1: Leistungsmatrix der sechs Haustechnikvarianten

	NEH1	NEH2	SH	PH1	PH2	PEH
Pellets Einzelofen		Pelletsessel 10 kW	Einzelofen 25 kW		Pelletsessel 10 kW	
Wärmepumpe	Sole-Wasser WP 10 kW _{th}			Kompakt- aggregat: Luft-Luft WP 1,8 kW		Kompakt- aggregat: Luft-Luft WP 1,8 kW
Solarthermie			Solarfläche 45 m			Solarfläche 10 m ²
Photovoltaik						61 m ² PV-Anlage 6 kWp
Fußboden- heizung	ja	ja	ja		ja	
Ergänzendes Sicherheits- system				Elektroheiz- körper 6 Radiatoren		Elektroheiz- körper 6 Radiatoren
Kontrollierte Wohnraum- lüftung				ja	ja	ja
Speichergrößen	170 l Pufferspeicher	1000 l Heizungs- speicher 200 l WW-Speicher	7000 l Heizungs- speicher 300 l WW-Speicher	200 l Pufferspeicher	1000l Heizungs- speicher 200 l WW-Speicher	500 l WW-Speicher

(Quelle: e.D.)

Der Matrix in Tabelle 1 entsprechend sind die sechs Haustechnikvarianten wie folgt bezeichnet:

- NEH1 Niedrigenergiehaus mit Wärmepumpe
- NEH2 Niedrigenergiehaus mit Pelletsheizung
- PEH Plusenergiehaus
- PH1 Passivhaus mit Wärmepumpe
- PH2 Passivhaus mit Pelletsheizung
- SH Sonnenhaus mit Solaranlage und Stückholzofen

Tabelle 2: Übersicht über die bilanzierten Gebäudevarianten

Variante	Struktur	Kurzbez.	Bauweise	HT-Var.
	1.		Ziegelbauweise	
	1.1.		Niedrigenergiehaus (NEH)	
1	1.1.1.	Z-N-W-P	Ziegel + WDVS + Pelletsheizung	NEH2
2	1.1.2.	Z-N-W-W	Ziegel + WDVS + Wärmepumpe	NEH1
3	1.1.3.	Z-N-1-P	Ziegel einschalig + Pelletsheizung	NEH2
4	1.1.4.	Z-N-1-W	Ziegel einschalig + Wärmepumpe	NEH1
	1.2.		Sonnenhaus (SH)	
5	1.2.1.	Z-S-W-E	Ziegel + WDVS + Einzelofen	SH
6	1.2.2.	Z-S-1-E	Ziegel einschalig + Einzelofen	SH
	1.3.		Passivhaus (PH)	
7	1.3.1.	Z-P-W-P	Ziegel + WDVS + Pelletsheizung	PH2
8	1.3.2.	Z-P-W-W	Ziegel + WDVS + Wärmepumpe	PH1
9	1.3.3.	Z-P-1-P	Ziegel einschalig + Pelletsheizung	PH2
10	1.3.4.	Z-P-1-W	Ziegel einschalig + Wärmepumpe	PH1
	1.4.		Plusenergiehaus (PEH)	
11	1.4.1.	Z-E-W-W	Ziegel + WDVS + Wärmepumpe	PEH
12	1.4.2.	Z-E-1-W	Ziegel einschalig + Wärmepumpe	PEH
	2.		Betonbauweise	
	2.1.		Niedrigenergiehaus (NEH)	
13	2.1.1.	B-N-W-P	Beton + WDVS + Pelletsheizung	NEH2
14	2.1.2.	B-N-W-W	Beton + WDVS + Wärmepumpe	NEH1
	2.2.		Sonnenhaus (SH)	
15	2.2.1.	B-S-W-E	Beton + WDVS + Einzelofen	SH
	2.3.		Passivhaus (PH)	
16	2.3.1.	B-P-W-P	Beton + WDVS + Pelletsheizung	PH2
17	2.3.2.	B-P-W-W	Beton + WDVS + Wärmepumpe	PH1
	2.4.		Plusenergiehaus (PEH)	
18	2.4.1.	B-E-W-W	Beton + WDVS + Wärmepumpe	PEH
	3.		Holzspanbeton	
	3.1.		Niedrigenergiehaus (NEH)	
19	3.1.1.	S-S-H-E	Holzspanbeton + WDVS Holzfaser + Pelletsheizung	NEH2
20	3.1.2.	S-S-W-E	Holzspanbeton + WDVS Holzfaser + Wärmepumpe	NEH1
21	3.1.3.	S-S-0-E	Holzspanbeton + WDVS EPS + Pelletsheizung	NEH2
22	3.1.4.	S-S-H-E	Holzspanbeton + WDVS EPS + Wärmepumpe	NEH1
23	3.1.5.	S-S-W-E	Holzspanbeton + Pelletsheizung	NEH2
24	3.1.6.	S-S-0-E	Holzspanbeton + Wärmepumpe	NEH1
	3.2.		Sonnenhaus (SH)	
25	3.2.1.	S-S-H-E	Holzspanbeton + WDVS Holzfaser + Einzelofen	SH
26	3.2.2.	S-S-W-E	Holzspanbeton + WDVS EPS + Einzelofen	SH
27	3.2.3.	S-S-0-E	Holzspanbeton + Einzelofen	SH
	3.3.		Passivhaus (PH)	
28	3.3.1.	S-P-W-P	Holzspanbeton + WDVS 26cm EPS + Pelletsheizung	PH2
29	3.3.2.	S-P-W-W	Holzspanbeton + WDVS 26cm EPS + Wärmepumpe	PH1
30	3.3.3.	S-P-11-P	Holzspanbeton + WDVS 11cm EPS + Pelletsheizung	PH2
31	3.3.4.	S-P-11-W	Holzspanbeton + WDVS 11cm EPS + Wärmepumpe	PH1
	3.4.		Plusenergiehaus (PEH)	
32	3.4.1.	S-E-W-W	Holzspanbeton + WDVS 26cm EPS + Wärmepumpe	PEH
33	3.4.2.	S-E-11-W	Holzspanbeton + WDVS 11cm EPS + Wärmepumpe	PEH
	4.		Holz	
	4.1.		Niedrigenergiehaus (NEH)	
34	4.1.1.	H-N-Z-P	Massivholz + Zellulosedämmung + Pelletsheizung *	NEH2
35	4.1.2.	H-N-Z-W	Massivholz + Zellulosedämmung + Wärmepumpe *	NEH1
36	4.1.3.	H-N-M-P	Massivholz + Mineralwolle + Pelletsheizung	NEH2
37	4.1.4.	H-N-M-W	Massivholz + Mineralwolle + Wärmepumpe	NEH1
38	4.1.5.	H-N-Z-P	Holzsteher + Zellulosedämmung + Pelletsheizung #	NEH2
39	4.1.6.	H-N-Z-W	Holzsteher + Zellulosedämmung + Wärmepumpe *	NEH1
40	4.1.7.	H-N-M-P	Holzsteher + Mineralwolle + Pelletsheizung	NEH2
41	4.1.8.	H-N-M-W	Holzsteher + Mineralwolle + Wärmepumpe	NEH1
	4.2.		Sonnenhaus (SH)	
42	4.2.2.	H-S-M-E	Massivholz + Mineralwolle + Einzelofen	SH
43	4.2.4.	H-S-M-E	Holzsteher + Mineralwolle + Einzelofen	SH
	4.3.		Passivhaus (PH)	
44	4.3.1.	H-P-M-P	Massivholz + Mineralwolle + Pelletsheizung	PH2
45	4.3.2.	H-P-M-W	Massivholz + Mineralwolle + Wärmepumpe	PH1
46	4.3.3.	H-P-M-P	Holzsteher + Mineralwolle + Pelletsheizung	PH2
47	4.3.4.	H-P-M-W	Holzsteher + Mineralwolle + Wärmepumpe	PH1
	4.4.		Plusenergiehaus (PEH)	
48	4.4.1.	H-E-M-0	Massivholz + Mineralwolldämmung + Wärmepumpe	PEH
49	4.4.2.	H-E-M-0	Holzsteher + Mineralwolldämmung + Wärmepumpe	PEH

* Die Varianten 34, 35 und 39 sind im Zuge des Projektes entfallen und wurden nicht bilanziert.

Für die Variante 38 wurde keine LCC erstellt.

(Quelle: e.D.)

Im vorliegenden Bericht wird folgende Terminologie zur Differenzierung der bilanzierten Elemente verwendet:

Der Begriff **Bauvarianten** definiert die bilanzierten Gebäude aus rein baulicher Sicht hinsichtlich der verwendeten Materialien und Aufbauten und beinhaltet keinerlei Gewerke der Haustechnik oder Elektroinstallation. Hiervon gibt es 15 verschiedene Varianten (inkl. unterschiedliche Energiestandards).

Der Begriff **Haustechnikvarianten** definiert ausschließlich die sechs Kombinationen der Haustechnik und Elektroinstallation, wie teilweise in Tabelle 2 beschrieben (NEH1, NEH2, SH, PH1, PH2, PEH).

Der Begriff **Gebäudevarianten** bezeichnet die Kombination aus den Bauvarianten mit den Haustechnikvarianten, aus der schließlich die in Tabelle 2 gelisteten 45 Gebäudevarianten hervorgehen.

Der Begriff **Energiestandard** bezieht sich auf die Bezeichnungen Niedrigenergiehaus, Sonnenhaus, Passivhaus und Plusenergiehaus und definiert unter anderem den Heizwärmebedarf laut Energieausweis (40 kWh/m²a für NEH und SH bzw. 10 kWh/m²a für PH und PEH).

Anmerkung: Im Zuge des Projektes hat das Konsortium entschieden, dass für Holzrahmenbauweise mit Zellulosedämmung nur das Niedrigenergiehaus (Variante Nr. 38) bilanziert werden soll, da sie für den (kleineren) Markt repräsentativ und inhaltlich ausreichend ist. Die Varianten 34, 35 und 39 sind daher im Einvernehmen mit den Projektpartnern entfallen.

2 Hintergrundinformationen zum Projektinhalt

Im folgenden Abschnitt werden die Projekthintergründe sowie der Stand der Technik erläutert und die methodische Vorgehensweise beschrieben.

2.1 Beschreibung des Standes der Technik

Viele Konzepte der nachhaltigen Entwicklung betonen die Wichtigkeit von Effizienzverbesserungen durch technologischen Fortschritt, und Energieeffizienzprogramme sind inzwischen zu einer Selbstverständlichkeit in der Energiepolitik geworden. Die Steigerung der Energieeffizienz wird seitens der Europäischen Union als zentraler Bestandteil der europäischen Energiestrategie und somit als eine erforderliche Maßnahme hinsichtlich der Erfüllung der Verpflichtungen aus dem Kyoto-Protokoll angesehen. Bis zum Jahr 2020 fordert der Europäische Rat eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um 20 % in Bezug auf die Werte von 1990, einen 20 % Anteil an erneuerbaren Energien am EU-weiten Endenergieverbrauch und eine Steigerung der Energieeffizienz, damit der für 2020 prognostizierte Energieverbrauch um 20 % unterschritten werden kann. Verbesserte Technologien sind die bedeutendste Möglichkeit für Energieeinsparungen durch erhöhte Energieeffizienz.

Wohngebäude haben einen hohen Anteil am Energieverbrauch im Gebäudesektor, obwohl im Zeitraum 1990 bis 2003 die durch die Beheizung der Gebäude verursachten Emissionen mehr oder weniger konstant geblieben sind. Das ist den immer strenger werdenden Vorschriften für Neubauten in den letzten beiden Jahrzehnten und den verschärften Bedingungen für Förderungen am Wohnbausektor zu verdanken. Niedrigenergiehäuser sind heute der seitens der Bauvorschriften geforderte Energiestandard von Gebäuden. Mit der EU-Gebäuderichtlinie (GEEG, engl. EPBD) schuf die europäische Kommission die Basis für eine einheitliche Bewertung von Gebäuden. Die Novellierung der EU-Gebäuderichtlinie, die mit Anfang 2012 in Kraft trat, geht einen wesentlichen Schritt weiter. Sie fordert „nahezu“ Energieautarkie für alle Neubauten ab 2020. Ein nahezu Null-Energie-Gebäude (nNZEB, nearly Net Zero-Energy-Building) ist ein Gebäude mit einem sehr geringen Energiebedarf, der zu einem hohen Grad aus erneuerbaren Ressourcen gedeckt werden soll, vorzugsweise aus lokalen oder nahe gelegenen Quellen. Die Mitgliedsstaaten haben sicherzustellen, dass mit 31. Dezember 2020 alle Neubauten der Definition von nNZEB entsprechen. Öffentliche Gebäude haben bereits ab 31. Dezember 2018 diesen Anforderungen zu entsprechen. Gemeinhin wird vermutet, dass darunter der sogenannte Passivhausstandard zu verstehen ist. Was die EU-Kommission damit meint, hat sie nicht definiert.

Mit der neuen Bauprodukteverordnung, die seit 1. Juli 2013 in Anwendung ist, kommen verpflichtende Grundanforderungen an Gebäude dazu. Neben statischen, brandschutz- und schallschutztechnischen Anforderungen haben Gebäude ab sofort auch Anforderungen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Gesundheit und die Umwelt zu entsprechen. So muss ein Gebäude dauerhaft sein, ihre Baustoffe und Bauteile müssen rezyklierbar sein und es dürfen nur umweltverträgliche Rohstoffe und Sekundärbaustoffe eingesetzt werden. Was einen Baustoff als umweltverträglich definiert, und wo die Grenze zur Nicht-mehr-Umweltverträglichkeit liegt, bleibt ebenfalls noch zu definieren. Für die Beschreibung der sogenannten Umweltverträglichkeit von Gebäuden müssen nach ÖNORM EN 15643-1 bestimmte Umweltindikatoren (Kategorien von Umweltauswirkungen) beurteilt werden. Nach der allgemeinen Definition ist ein Indikator ein Hinweis auf einen bestimmten Sachverhalt oder auf ein Ereignis. Die Daten für die Gesamtbeurteilung eines Gesamtgebäudes müssen aus der untergeordneten Ebene, nämlich aus der Beurteilung der Baustoffebene kommen. Die ÖNORM EN 15804 legt hierfür die Rahmenbedingungen und die zu bewertenden Umweltwirkungen fest. Eindeutiger zu bestimmen ist hingegen die Forderung der Bauprodukteverordnung bezüglich Wärmeschutz eines Gebäudes über den U-Wert seiner Außenhülle, wengleich auch hier Referenzwerte fehlen. Ebenso erfordert die Frage nach der Energieeinsparung einen Referenzwert.

Welche Gebäudetypen, welche haustechnischen Systeme und welche Baustoffe und Baukonstruktionen diesen Anforderungen in welcher Weise gerecht werden, ist schwer zu sagen und bislang nicht ausreichend definiert bzw. untersucht worden. Einseitig erstellte Studien sind oftmals sehr baustofflastig und damit nicht ausreichend glaubhaft. In dieser Studie wird versucht, zumindest einen Teil der unzähligen Fragen, die in diesem Zusammenhang auftreten können, zu beantworten.

2.2 Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema

Aus der Diskussion Holz als Baustoff versus Massivbaustoffe einerseits und der Kontroverse Passivhäuser gegen andere innovative und energieeffiziente Gebäudekonzepte heraus, entstand innerhalb der ACR die Idee, diese Aspekte gründlich zu untersuchen. Die beteiligten Forschungsinstitute und externen Projektpartner haben zu verschiedenen Teilaspekten bereits Untersuchungen unternommen und zahlreiche Publikationen liegen vor. Nun sollte ein gemeinsames Projekt der baustoffrelevanten Institute Klarheit schaffen.

Im Vorfeld des Projektes wurde geklärt, welche Fragen damit beantwortet werden sollen.

- Welcher Baustoff ist der umweltschonendste?
- Welcher Energiestandard von Gebäuden ist am besten geeignet, unsere Welt zu retten?
- Wie groß ist der Einfluss der Haustechnik auf das Gesamtergebnis?
- Welches Gebäudekonzept entspricht am besten der Forderung der EU-Gebäuderichtlinie nach einem kostengünstigen Optimum?

Damit sind die wichtigsten Analysepunkte festgelegt: eine Ökobilanzierung der Haustechnik (LCA), die Ökobilanzierung der verschiedenen Bauvarianten (LCA) und die Berechnung der Lebenszykluskosten (LCC) aller Gebäudevarianten, für die sich das Konsortium entschieden hat.

2.3 Beschreibung der Neuerungen sowie ihrer Vorteile gegenüber dem Ist-Stand (Innovationsgehalt des Projekts)

Im vorliegenden Projekt wurden erstmals umfassende Daten erhoben. Die Errichtungskosten der einzelnen Gebäude wurden von einem großen Generalunternehmer kalkuliert und die ausgepreisten Leistungsverzeichnisse für die weiterführende Bilanzierung im Projekt zur Verfügung gestellt. Das Projektteam hat die Preise, Mengen und Positionen geprüft und verifiziert. In das Projekt eingebunden war ein Beirat, bestehend aus Universitätsvertretern und Vertretern der produzierenden Wirtschaft der einzelnen Baustoffe, die im Projekt zu analysieren waren. Der Beirat seinerseits prüfte den Projektverlauf, die Zwischenstände und die Projektergebnisse. Mit der TU Graz stand dem Projektteam für die Ökobilanzierung der Massivbauvarianten und für die Berechnung der Lebenszykluskosten ein baustoffneutraler Projektpartner zur Verfügung. Die Berechnungsergebnisse sind hier von keinerlei industriellen Interessen beeinflusst.

Der angestellte Vergleich in der Ökobilanz betrifft einerseits rein die haustechnischen Komponenten entsprechend den gewählten Energiestandards der Gebäudevarianten, andererseits betrifft er die verschiedenen Energiestandards innerhalb der Gebäudevarianten eines Baustoffes. Um dem gewünschten Quervergleich aller Gebäudevarianten seitens des Fördergebers gerecht zu werden, wurde auch dieser angestellt, wenngleich er für die Ökobilanzierung nicht zulässig ist, da die Holzbauvarianten mit einem anderen System bilanziert wurden, als die Massivbauvarianten. Die Ökobilanz wurde über eine Lebensdauer von 100 Jah-

ren erstellt, damit sollte der Forderung der Europäischen Bauprodukteverordnung nach einer langen Beständigkeit von Gebäuden nachgekommen werden. Die Zeit der Wegwerfhäuser ist demnach vorbei, wir denken wieder in längeren Gebäudelebensdauern als in den letzten 40 Jahren. Der Kostenvergleich über eine Lebensdauer von 50 Jahren erschien dem Bilanzierer (TU Graz) als ausreichend aussagekräftig, da sich bei einem Bilanzzeitraum von 100 Jahren keine wesentlichen Änderungen einstellen würden. Diese Nutzungsdauer entspricht einer Generation als Nutzer. Mit den Ergebnissen aus diesem Projekt beantworten die Projektpartner die oben angeführten Fragen erstmals umfassend und auf Basis fundierten Datenmaterials, das für Interessenten jederzeit zur Einsicht zur Verfügung steht.

2.4 Verwendete Methoden

Der Lebenszyklus der Gebäudevarianten wurde entsprechend der ÖNORM EN 15978 „Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode“ analysiert. Tabelle 3 gibt einen Überblick über die Phasen des Lebenszyklus laut ÖNORM EN 15978.

Tabelle 3: Lebenszyklusphasen nach ÖNORM EN 15978

Angaben zum Lebenszyklus des Gebäudes														Ergänzende Informationen außerhalb des Lebenszyklus	
A 1-3 Herstellungphase			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		
														Potenzial für Wiederverwertung, Rückgewinnung und Recycling	

(Quelle: nach ÖNORM EN 15978)

2.5 Vorgehensweise und verwendete Daten

In diesem Abschnitt des Ergebnisberichtes wird die methodische Vorgehensweise kurz beschrieben. Genaue Angaben zu den methodischen Ansätzen, zum Bilanzierungsumfang und zu den Systemgrenzen sind im Anhang 1 nachzulesen.

2.5.1 Arbeitsschritte im Projekt

Das Projekt war in folgende Arbeitsschritte gegliedert:

1. Auswählen des Gebäudeentwurfs und Auswahl des theoretischen Objektstandortes
2. Festlegen der zu analysierenden Bauweisen (Gebäudestandards, Baustoffe)
3. Definieren der konstruktiven Aufbauten für die verschiedenen Gebäudevarianten
4. Festlegen der einzuhaltenden Energiestandards (Heizwärmebedarf HWB)
5. Definieren der haustechnischen Ausstattung (Wärmebereitstellung, Lüftung, Elektroinstallationen, Sanitärausstattung)
6. Erstellen der Planunterlagen für die verschiedenen Gebäudevarianten
7. Erstellen der Energieausweise für alle Gebäudevarianten
8. Erstellen der Leistungsverzeichnisse für alle Bauwerkstypen, Haustechnik und Elektroinstallationen inklusive Mengenermittlung
9. Auspreisen der Leistungsverzeichnisse
10. Überprüfen der Leistungsverzeichnisse hinsichtlich Positionen, Mengen und Preise seitens des Konsortiums
11. Erstellen einer Massenbilanz für die folgende Ökobilanzierung (LCA)
12. Erstellen der Ökobilanzen (LCA) für die verschiedenen Bauvarianten
13. Erstellen der Ökobilanzen (LCA) für die Haustechnikvarianten
14. Zusammenführen der Ökobilanzergebnisse (LCA) von Bauvarianten und Haustechnikvarianten
15. Erstellen der Lebenszykluskostenanalyse (LCC) für die verschiedenen Gebäudevarianten
16. Gegenüberstellender Vergleich der Gebäudevarianten
17. Erstellen des Endberichtes
18. Dissemination der Ergebnisse

2.5.2 Indikatoren der ökologischen Bilanzierung

Für die ökologische Bilanzierung der Gebäudevarianten wurden gemäß CML 3.2-Methode folgende LCIA-Indikatoren berechnet:

- Versauerungspotenzial von Boden und Wasser (AP, in kg SO_{2 eq}/m² a)
- Eutrophierungspotenzial (EP, in kg PO_{4 eq}/m² a)
- Potenzial zum Abbau der stratosphärischen Ozonschicht (ODP, in kg CFC-11_{eq}/m² a)
- Potenzial zur 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, rohstofflich und energetisch genutzte Ressourcen (CED non ren, in MJ/m² a)
- Einsatz erneuerbarer Primärenergie, rohstofflich und energetisch genutzte Ressourcen (CED ren, in MJ/m² a)

Für die Gebäudelebensdauer wurden im gesamten Projekt 100 Jahre angenommen. Die Bilanzierung der Haustechnikvarianten wurde separat vorgenommen und die Ergebniswerte mit jenen der Bauvarianten aggregiert.

2.5.3 Vorgehensweise bei der Ökobilanzierung (LCA) der Haustechnik

Auf Basis der Leistungsverzeichnisse wurden folgende Arbeiten zur Bilanzierung der haustechnischen Komponenten für alle Haustechnikvarianten ausgeführt:

- Massenbilanz und Ökobilanzierung der Haustechnikmodule in SimaPro (Ökobilanz-Software für Bauprodukte)
- Eingabe der Leistungsverzeichnisse in EcoSoft (Ökobilanz-Software für Gebäude)
- Eingabe der Energieausweise in EcoSoft (Ökobilanz-Software für Gebäude)
- Analyse und Dokumentation der Ergebnisse

Die spezifischen Rahmenbedingungen und methodischen Vorgaben der verwendeten Ökobilanzdaten entsprechen den methodischen Annahmen für die IBO-Richtwerte¹. Sie sind unter <http://www.ibo.at/de/oekokennzahlen.htm> abrufbar.

Die Basisdaten für allgemeine Prozesse wie Energiesysteme, Transportsysteme, Basismaterialien, Entsorgungsprozesse und Verpackungsmaterialien stammen aus ecoinvent v2.2. Die Sachbilanzdaten aller Prozesse wurden in die Datenbank der SimaPro 7 LCA Software eingegeben, mit den Basis-Datensätzen (generische Daten) verknüpft und hochgerechnet. Detaillierte Informationen sind in Anhang 1 zu finden.

Nach Durchrechnung der Gebäudevarianten stellte sich heraus, dass laut Energieausweisprogramm diverse Defaultwerte nicht dem Stand der Technik entsprechen. So sind mittlerweile Hocheffizienzpumpen vorgeschrieben, für die Heizkreispumpe ist jedoch ein Defaultwert von 400 W angesetzt. Bei der Sonnenhausberechnung können erst seit einer Programmänderung im Vorjahr die Ergebnisse laut Solarberechnung in das Energieausweisprogramm GEQ Zehentmayer übernommen werden. Zuvor war der Solarertrag mit 20 % begrenzt in die Energieausweise eingeflossen. Da diese ersten Berechnungen nicht auf realistischen Werten beruhten, wurden die Eingaben der Haustechnikdaten angepasst und erneut durchgerechnet. Folgende Änderungen wurden vorgenommen:

- Leistung Umwälzpumpe bei allen Heizungsanlagen auf 20 W (für Heizung) korrigiert
- Elektrische Regler 15 W, bei allen Häusern gleich
- Elektrische Ventile je 3,5 W je Stellmotor, 2 Stück für EFH mit 2 Stockwerken, d.h. für 2 Heizkreise
- Pelletskessel 10 kW: Leistungsaufnahme Kessel mit 10 kW Heizleistung
 - η Vollast = 93,1 % 46 W im Vollastbetrieb
 - η Teillast = 90,9 % 27 W im Teillastbetrieb
 - Schlummerbetrieb 7 W
 - Kesselpumpe auf Null gesetzt
 - Speicherladepumpe 38 W
 - Pelletsförderung in den Kesselspeicher pneumatisch via Saugturbine, 1600 W, 1-2 Minuten täglich
 - Gebläsemotor zur Kesselzuführung, 27 W

¹ mit Ausnahme der Annahmen für Metalle, siehe „Aktualisierung der baubook Plus Daten“

- Festbrennstoffkessel / Holzvergaser 25 kW Powall Vario k
 - η Vollast = 87 %
 - 2,4 % Bereitschaftsverluste
 - Kein Gebläse
- Solaranlagen-system
 - Kollektorkreis-pumpe 30 W
 - Solarkreis-pumpe 20 W
 - Eingabe der monatlichen Ertragswerte laut Polysun-Berechnung (Unter „An-dere Berechnungsmethoden“)

2.5.4 Vorgehensweise bei der Ökobilanzierung der Massivgebäudevarianten (LCA)

Für die Berechnung der umweltbezogenen Qualität der Gebäudevarianten wurde nach folgendem Schema vorgegangen:

- Zuordnen der Bauprodukte zu den Datensätzen (Module A1-A3)
- Bauteilmodellierung Herstellung (Module A1-A3)
- Gebäudemodellierung Herstellung (Module A1-A3)
- Zuordnen der Datensätze für Beseitigung zu den Bauprodukten (Module C2 und C4)
- Bauteilmodellierung Beseitigung (Module C2 und C4)
- Gebäudemodellierung Beseitigung (Module C2 und C4)
- Festlegen der Nutzungsdauern für Bauprodukte, Baumaterialien und Konstruktionen
- Modellbildung gesamter Lebenszyklus
- Auswertung

Die Bilanzen wurden mit der Software ecoinvent v2.2 und der dahinterliegenden Datenbank erstellt. Detaillierte Informationen sind in Anhang 1 zu finden.

Anmerkung: Die Berechnungsergebnisse laut Haustechnikkorrektur sind in die Massivbauvarianten eingeflossen.

2.5.5 Vorgehensweise bei der Ökobilanzierung der Holzgebäudevarianten (LCA)

Auf Basis der Pläne und Leistungsverzeichnisse wurden folgende Arbeiten zur Bilanzierung der Holzgebäude-Varianten ausgeführt:

- Erstellen einer Massenbilanz für die Herstellung (Module A1-A3)
- Eingabe der Bauteile und Gebäudevarianten in EcoSoft v5.0 (Ökobilanz-Software für Gebäude)
- Festlegen der Austauschraten (Nutzungsdauern) und Ermitteln der Massenbilanz für den Austausch der Materialien (Modul B 4)
- Festlegen und Berechnen der Entsorgungsprozesse (Modul C2-C4)
- Festlegen und Berechnen der Szenarien für Vorteile und Belastungen außerhalb der Systemgrenzen (Modul D)
- Eingabe aller Szenarien in EcoSoft v5.0
- Berechnen einer Variante (Niedrigenergiehaus in Holzrahmenbauweise) mit einem erweiterten Lebenszyklus (inklusive der Module A4 und A5)

- Zusammenführen der Ergebnisse für die Holzgebäudevarianten mit den jeweiligen Haustechnikvarianten
- Analyse und Dokumentation der Ergebnisse

Die Berechnungsmethode für die Holzbauvarianten unterscheidet sich in einigen Punkten von jener für die Massivbauvarianten, weshalb die Ergebnisse der Ökobilanzen nicht direkt miteinander vergleichbar sind. Detaillierte Informationen sind in Anhang 1 zu finden.

Anmerkung: Die Berechnungsergebnisse laut Haustechnikkorrektur sind in die Holzbauvarianten **nicht** eingeflossen.

2.5.6 Vorgehensweise bei der Berechnung der Lebenszykluskosten (LCC) aller Gebäudevarianten

Für die Berechnung der ökonomischen Qualität der Gebäudevarianten wurde nach folgendem Schema vorgegangen:

- Modellieren der Kostengliederung für Baumaterialien (Module A1-A3)
- Modellieren der Kostengliederung für technische Gebäudeausrüstung
- Modellieren der Phase Austausch (B4)
- Modellieren des gesamten Lebenszyklus
- Berechnen der Lebenszykluskosten der Gebäudevarianten

In den Preisen laut Leistungsverzeichnissen sind übliche Nachlässe, Planungskosten sowie ein 8 %iger Generalunternehmerzuschlag inkludiert. Basis für die Berechnung der Lebenszykluskosten ist die Unterstellung einer technisch korrekten Ausführung der Konstruktionen und Gebäude insgesamt. Für die Austauschraten wurden technische Gesichtspunkte herangezogen und nur begrenzt Fragen des Geschmacks und Zeitgeistes bezüglich des Wohnraumdesigns. Detaillierte Informationen sind in Anhang 1 zu finden.

Anmerkung: Die Berechnungsergebnisse laut Haustechnikkorrektur sind in alle Varianten zur Berechnung der Lebenszykluskosten eingeflossen.

3 Ergebnisse des Projektes

In diesem Ergebnisteil des Berichtes werden in Abschnitt 3.1 die Resultate der Ökobilanzierung (LCA) miteinander verglichen. Dies umfasst die sechs Haustechnikvarianten sowie die verschiedenen Gebäudevarianten mit Baustoffbezug. Außerdem wird eine Gegenüberstellung über alle 45 Gebäudevarianten besprochen. Abschnitt 3.2 befasst sich mit den Unterschieden der im Projekt eingesetzten LCA Bilanzierungssysteme EcoSoft und Ecoinvent. Außerdem wird in Abschnitt 3.3 eine vergleichende Übersicht über in Österreich angewendete Zertifizierungssysteme von Gebäuden gebracht. Den Abschluss bildet mit Kapitel 3.4 eine vergleichende Darstellung der Bilanzierung der Lebenszykluskosten (LCC) quer über alle Gebäudevarianten. Ergänzende Informationen und detaillierte Ergebnisse sind in Anhang 1 nachzulesen. Die einzelnen Ergebnisse der LCA und LCC Bilanzierung aller Gebäudevarianten sind in Anhang 2 ausgewiesen.

3.1 Ergebnisse der Ökobilanzierung LCA

Die folgende Darstellung der Ökobilanzergebnisse (LCA) gliedert sich in die Abschnitte Haustechnik, Ziegelbauweisen, Betonbauweisen, Holzspanbauweisen und Holzbauweisen. Im Anschluss wird ein Quervergleich über alle bilanzierten Gebäudevarianten angestellt. Die Ergebnisse der Bilanzierung in absoluten Zahlen – getrennt nach Lebenszyklusphasen – sind für jede Gebäudevariante in den Ergebnisdatenblättern in Anhang 2 nachzulesen.

Wichtige Anmerkung: An dieser Stelle ist deutlich hervorzuheben, dass für die Bilanzierung der Massivbauvarianten und der Holzbauvarianten unterschiedliche Bilanzierungssysteme zum Einsatz gekommen sind, weil diese Infrastruktur in den bilanzierenden Instituten vorhanden war. Die Ergebnisse sind daher nicht direkt miteinander zu vergleichen. Auf die Unterschiede zwischen den Datenbanken wird in Abschnitt 3.2 gesondert eingegangen.

3.1.1 LCA Haustechnik

Die aggregierten Ergebnisse für jede Haustechnikvariante wurden in die Ergebnisvorlagen eingetragen und an die Bilanzierer sowie das Konsortium übergeben. Zusätzlich zu den vorgegebenen Varianten, die auf den Energieausweisen beruhen, wurde für jede Haustechnikvariante (NEH1, NEH2, SH, PH1, PH2, PEH) eine weitere Variante mit einem gemittelten Betriebsenergiebedarf gerechnet. Die folgenden Ausführungen beruhen auf diesen gemittelten Varianten. Die Empfehlung der Autorin dieses Abschnittes (Hildegund Mötzl, IBO) wäre ohnehin, nur mit den Ökobilanzen für den gemittelten Betriebsenergiebedarf zu rechnen, da die unterschiedlichen Energieausweisergebnisse v.a. auf unterschiedliche Berechnungsmethoden zurückzuführen sind. Die Energieausweise der Massivbauvarianten wurden mit GEQ Zehentmayr berechnet und jene der Holzbauvarianten mit ArchiSoft. In die Berechnungen der Massivhausvarianten sind die Ergebnisse der geänderten Berechnungen laut Abschnitt 2.5.3 (Seite 20) vollständig eingeflossen. In die Berechnungen der Holzbauvarianten wurden die Änderungen von den Bilanzierern nicht übernommen.

3.1.1.1 Lebenszyklus Elektro- und Sanitärausstattung

Die Gebäude unterscheiden sich nach den in Tabelle 4 gelisteten Modulen.

Tabelle 4: Module der Ökobilanzierung (LCA) der Elektro- und Sanitärausstattung

Komponente	NEH1	NEH2	SH	PH1	PH2	PEH
PV-Anlage						x
E-Radiatoren				x		x
Verkabelung	x	x	x	x	x	x
Sanitär	x	x	x	x	x	x

Die Ökobilanz für die Elektro- und Sanitärkomponenten wird am Beispiel des Plusenergiegebäudes dargestellt, da dieses alle vorkommenden Komponenten enthält.

Wie aus Abbildung 1 ersichtlich ist, sind die Beiträge der „anderen Elektro- und Sanitärkomponenten“ (Detaillierung siehe Abbildung darunter) im Vergleich zur Herstellung

und Erneuerung der PV-Anlage gering. Die vermiedenen Umweltbelastungen durch den PV-Stromertrag sind deutlich höher als die Belastungen aus der Herstellung und Erneuerung der PV-Anlage, obwohl die Ergebnisse aus Sicht der PV-Anlage wegen ihrer kurzen angenommenen Nutzungsdauer von 20 Jahren ein Worst-Case-Szenario darstellen.

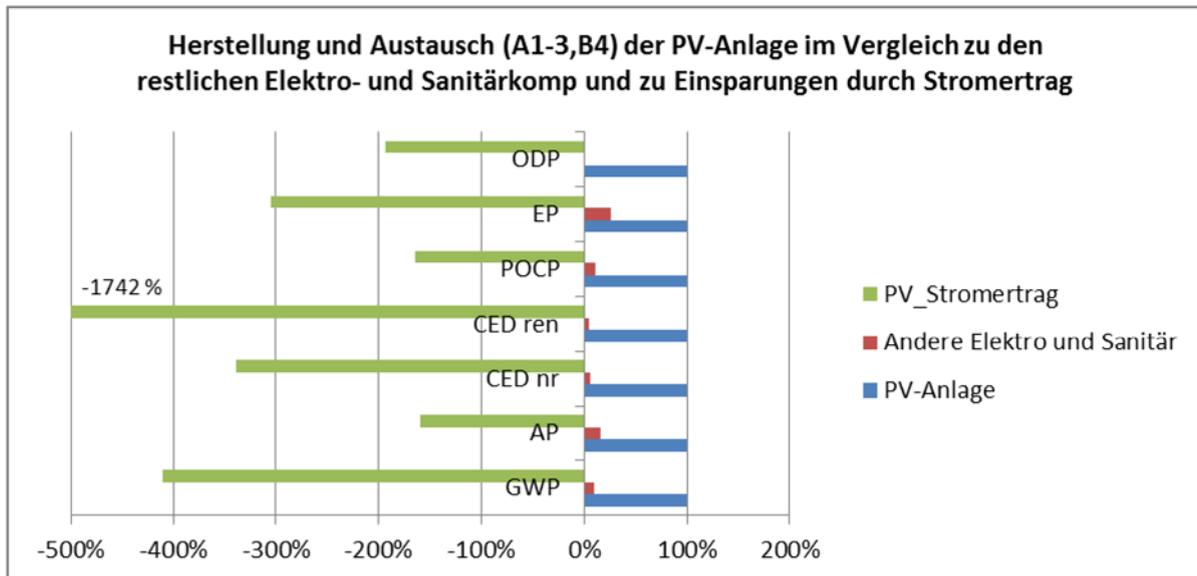


Abbildung 1: Herstellung und Austausch der PV-Anlage im Vergleich zu den restlichen Elektro- und Sanitärkomponenten und zu den Einsparungen durch den Stromertrag

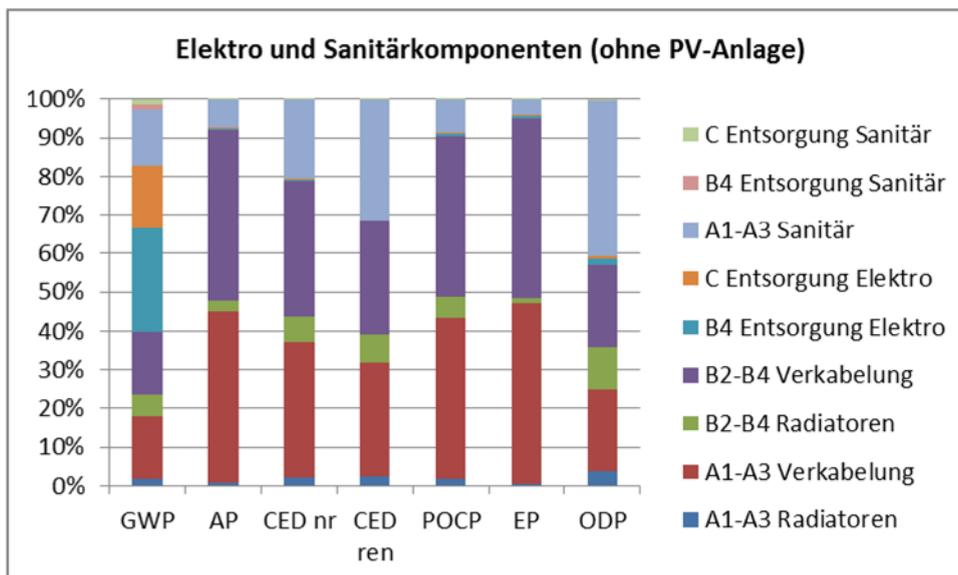


Abbildung 2: Anteile der Ökobilanzergebnisse der Elektro- und Sanitärkomponenten

3.1.1.2 Lebenszyklus Heizung, Lüftung und Elektroinstallationen

Die Abbildungen 3 und 4 zeigen mit unterschiedlichen Skalen die Gesamtbelastungen über den Lebenszyklus für Heizung, Lüftung und Elektrotechnik (Sanitär wurde vernachlässigt). Die Variante NEH1 stellt den Referenzwert mit 100 % bei jedem Indikator. Die anderen Haustechniktypen sind dazu in Relation gesetzt.

Der erneuerbare Anteil am Primärenergieverbrauch ist bei den Varianten mit Wärmepumpe relativ gering. Er entsteht lediglich aus dem Anteil an erneuerbaren Energieträgern im zugrunde gelegten Strommix.

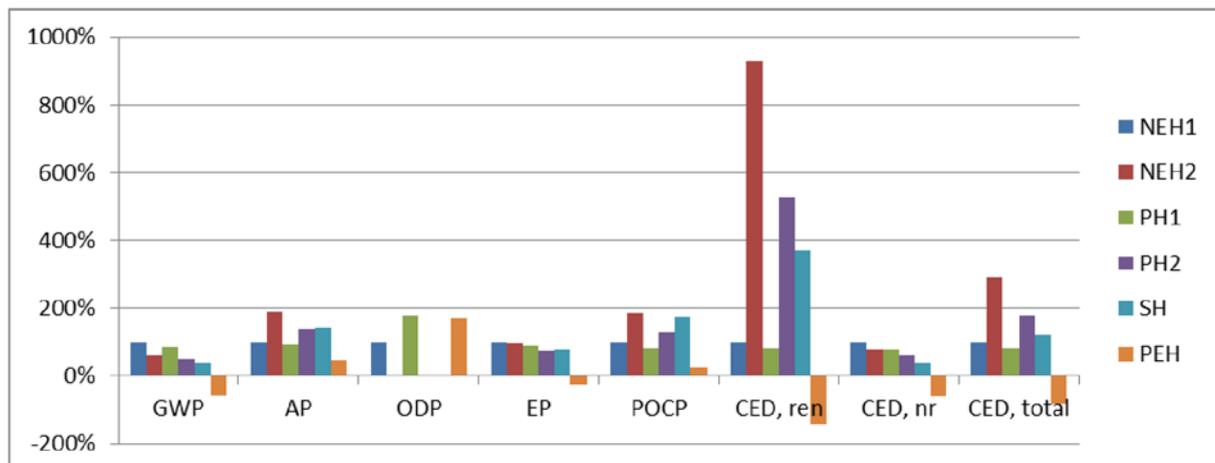


Abbildung 3: Gesamtbelastungen aus Heizung, Lüftung und Elektroinstallation über den gesamten Lebenszyklus (volle Skalendarstellung)

NEH2 und PH2 sind jene Haustechnikvarianten, die mit Pellets beheizt werden. Diese und das Sonnenhaus (Beheizung mit Sonnenenergie und Stückholz) haben einen hohen Anteil an erneuerbaren Energieträgern, daher sind die Balken relativ hoch. Beim gesamten Primärenergieverbrauch sind die Wärmepumpenvarianten wegen des Verhältnisses eingesetzter Strominput zu umgesetzter nutzbarer Heizwärme (JAZ 3) in Relation niedriger als die Werte der Varianten mit Holzbrennstoffen. Das Plusenergiehaus (PEH) weist aufgrund des produzierten PV-Stroms in den meisten Kategorien negative Werte auf.

In Abbildung 4 wurde die Skala bei 300 % begrenzt, da die wesentliche Aussage bezüglich des Primärenergieverbrauchs auch so sichtbar ist und die anderen Werte besser lesbar werden.

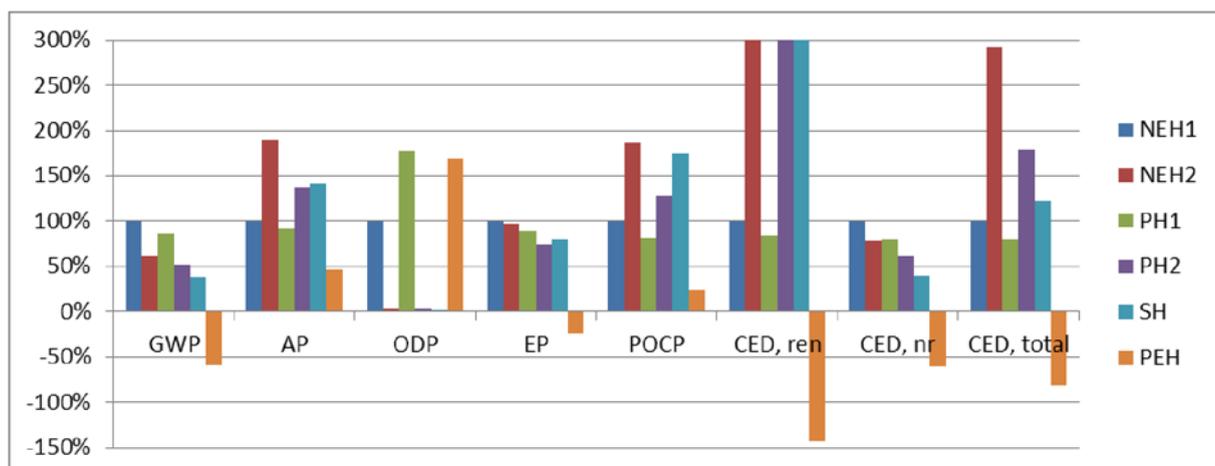


Abbildung 4: Gesamtbelastungen aus Heizung, Lüftung und Elektroinstallation über den gesamten Lebenszyklus (begrenzte Skalendarstellung)

Bei den mit Holzbrennstoffen beheizten Varianten NEH2 und PH2 sowie beim SH fällt das Treibhauspotenzial relativ niedrig aus. Extrem niedrig sind ihre Werte beim Ozonabbaupo-

tenzial, beim POCP und beim AP liegen die Werte etwa doppelt so hoch wie bei den Wärmepumpenvarianten. Bei EP liegen alle Haustechnikvarianten in einem ähnlichen Wertebereich.

3.1.1.3 Lebenszyklus Heizung und Lüftung nach Indikatoren

Die folgenden Absätze beschreiben die Ergebnisse der Ökobilanzierung der einzelnen Ökoindikatoren für Heizung und Lüftung über den gesamten Lebenszyklus. Die zugehörigen Abbildungen 5 bis 8 sind im Anschluss daran zu finden.

Anmerkung zum Plusenergiehaus: Die vermiedenen Umweltbelastungen durch den PV-Stromertrag wurden ebenso wie die Belastungen aus der Herstellung und Erneuerung der PV-Anlage dem Gewerk „Elektro“ zugeordnet. Das PEH weist im Gewerk „Heizung und Lüftung“ daher Belastungen für Strombedarf auf, die Deckung durch den PV-Ertrag wird dagegen an anderer Stelle berücksichtigt.

Primärenergieinhalt, erneuerbar (CED ren)

Die Betriebsphase der biomassebeheizten Gebäude (B6) bestimmt den CED ren, sodass die anderen Lebensphasen in der Grafik praktisch nicht sichtbar sind. Relativ hohe Werte zeigen hier NEH2, PH2 und SH, während die Wärmepumpen betriebenen Gebäude NEH1, PH1 und PEH geringen Verbrauch an erneuerbaren Energien haben. Beim Sonnenhaus wird der solare Anteil in der Grafik nicht abgebildet (Abbildung 5 links).

Primärenergieinhalt, nicht erneuerbar (CED non ren)

Auch zum CED non ren liefert außer beim SH die Betriebsphase (B6) die höchsten Beiträge. Das Heizen mit Pellets (NEH2, PH2) weist einen höheren nicht erneuerbaren Anteil aus als das Beheizen mittels Einzelofen (SH). Die Entsorgungsphase (C3-4) ist verschwindend gering. Die Phasen A1-A3 und B4 gemeinsam tragen zwischen 13 % (NEH2) und 64 % (SH) zum Gesamtwert bei. Die Phasen A1-A3 und B4 für Sonnenhaus (SH) zeigen hier etwas höhere Werte als beispielsweise das NEH2. Dies wird durch den geringen CED non ren Bedarf in der Betriebsphase wieder aufgewogen, sodass das SH insgesamt in dieser Kategorie am besten abschneidet.

Primärenergieinhalt, gesamt (CED total)

Die Ergebnisse für den CED non ren liegen deutlich unter jenem des CED ren, weshalb der CED total stärker vom CED ren bestimmt wird.

Treibhauspotenzial (GWP)

Die Betriebsphase (B6) ist ausgenommen beim SH bestimmend. Je geringer das GWP des jeweiligen Gebäudetyps für Strom und Biomasse ausfällt, desto geringer ist das GWP über den Lebenszyklus. Den geringsten Wert im Gesamt-GWP weist das Sonnenhaus (SH) auf, obwohl die GWP-Belastungen für die Herstellung (A1-A3 und B4) der Solaranlage und des Solartanks höher sind als bei den anderen Varianten. Das SH profitiert hier besonders vom hohen Anteil an Solarenergie und der Biomasse als Energieträger. Das GWP für die Entsorgung der Haustechnikkomponenten ist verschwindend gering. Das GWP für die materialbe-

zogene Nutzungsphase (B4) ist am höchsten bei den Systemen mit Wärmepumpe. Der Beitrag ist durch die diffusen R134a-Emissionen während der Nutzung² und bei der Entsorgung der ausgetauschten Pumpen³ verursacht. Diese könnten bei sorgfältiger Abdichtung und umsichtiger Entsorgung auch deutlich niedriger ausfallen.

Versauerungspotenzial (AP)

Das AP ist am höchsten beim NEH2. Verursacht wird dieser Effekt durch die Pelletsheizung. Die Biomasseheizung macht sich auch beim PH2 und beim SH in der Betriebsphase bemerkbar, wirkt sich aber wegen des geringen Heizbedarfs nicht so stark aus. Bei den anderen Gebäudetypen dominiert der Strombedarf für den Betrieb das AP.

Beim SH ist außerdem das AP der Herstellungs- (A1-A3) und Erneuerungsphase (B4) deutlich sichtbar. Zu den hohen Werten trägt hier vor allem die Solaranlage bei, in der Errichtungsphase auch der Pufferspeicher, der aber über die 100 Jahre Nutzungsdauer nicht ausgetauscht werden muss.

Ozonabbaupotenzial (ODP)

Das ODP wird vor allem durch die materialbezogene Nutzungsphase (B4) bestimmt. Ausschlaggebend dafür ist die Produktion des Kältemittels für die Wärmepumpe bzw. der verwendete generische Datensatz aus ecoinvent. Beim PH1 und PEH beträgt die angenommene Lebensdauer der Wärmepumpe wie jene des Kompaktlüftungsgeräts, in das sie eingebaut ist, nur 20 Jahre, deshalb ist das ODP bei diesen beiden Gebäudetypen höher als beim NEH1. Das ODP der Herstellungsphase (A1-A3) der Gebäudetypen NEH1, PH1 und PEH ist ebenfalls durch das Kältemittel in der Wärmepumpe verursacht. Insgesamt sind die ODP-Werte wie beim Neubau üblich als relativ gering zu bewerten.

Photosmogpotenzial (POCP)

Die höchsten Beiträge zum POCP liefern die biomassebetriebenen Heizsysteme (NEH2, PH2, SH).

Eutrophierungspotenzial (EP)

Wieder sind die Belastungen durch den energiebezogenen Betrieb (B6) am höchsten. Solaranlage und Pufferspeicher tragen beim SH außerdem wesentlich zu den Belastungen in der Herstellungsphase (A1-A3) bei. Das EP der materialbezogenen Nutzungsphase (B4) ist v.a. durch den Austausch der Solaranlage verursacht.

² Annahme: 100 % des Kältemittels gehen über die gesamte Nutzungsdauer der Wärmepumpe verloren, einmal wird nachgefüllt

³ Annahme: 20 % des Kältemittels emittieren bei der Entsorgung

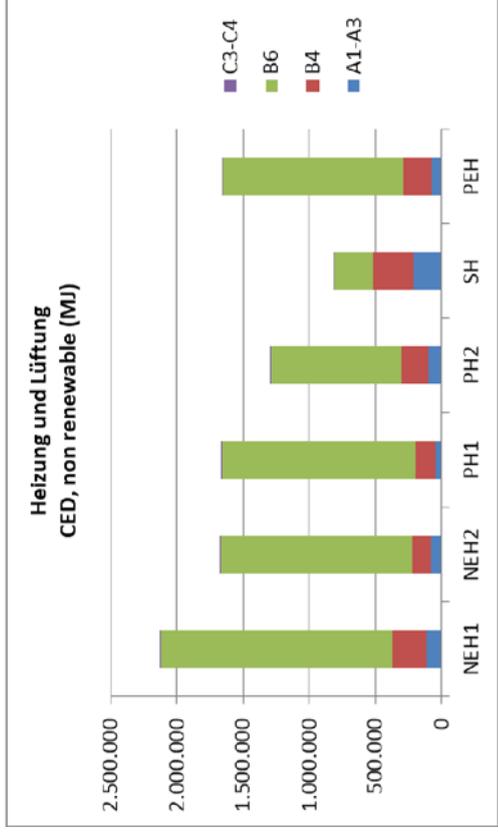
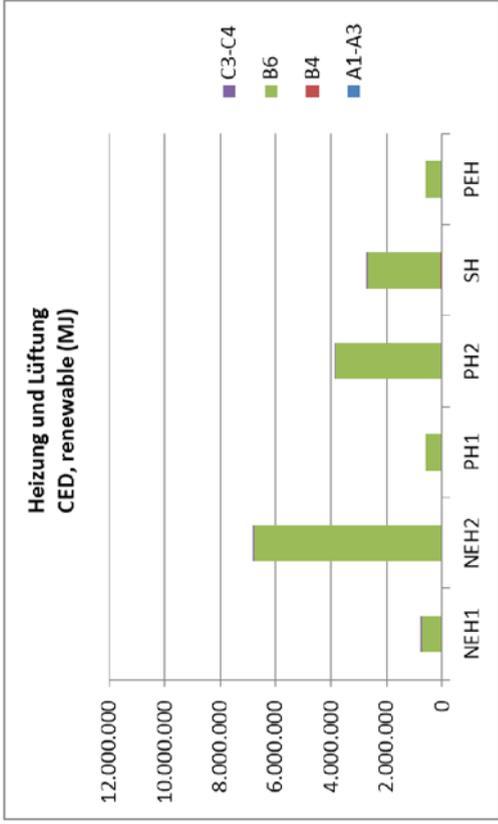


Abbildung 5: Kumulierte LCA Ergebnisse Primärenergiebedarf erneuerbar und nicht erneuerbar für alle Haustechnikvarianten

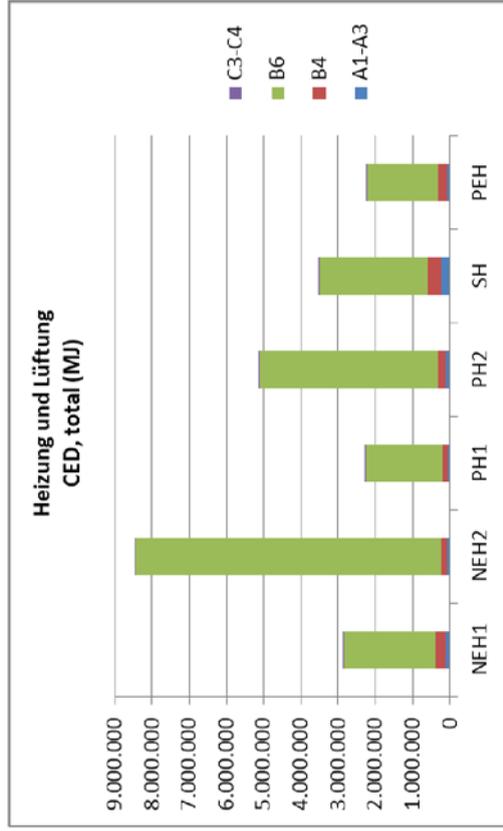
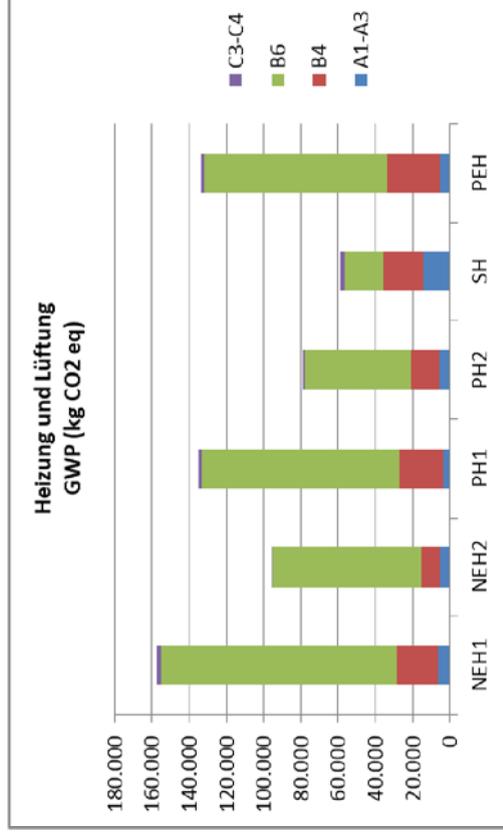


Abbildung 6: Kumulierte LCA Ergebnisse Primärenergiebedarf total und Treibhauspotenzial für alle Haustechnikvarianten



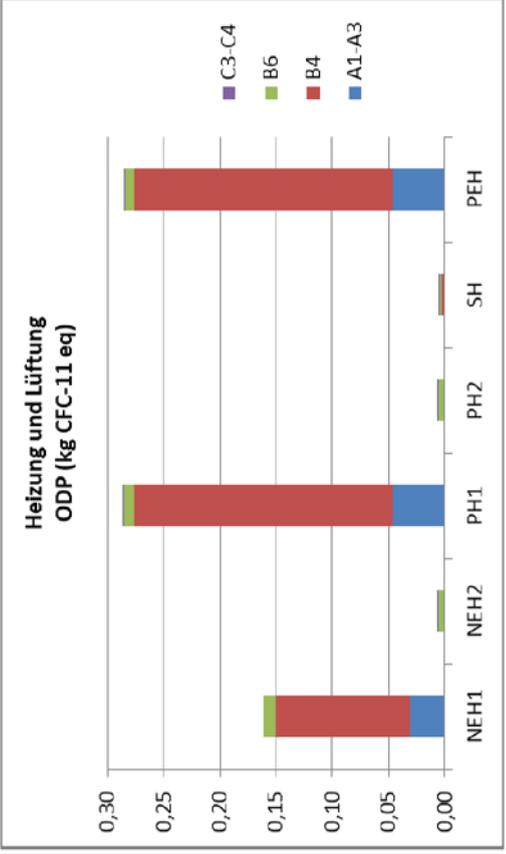
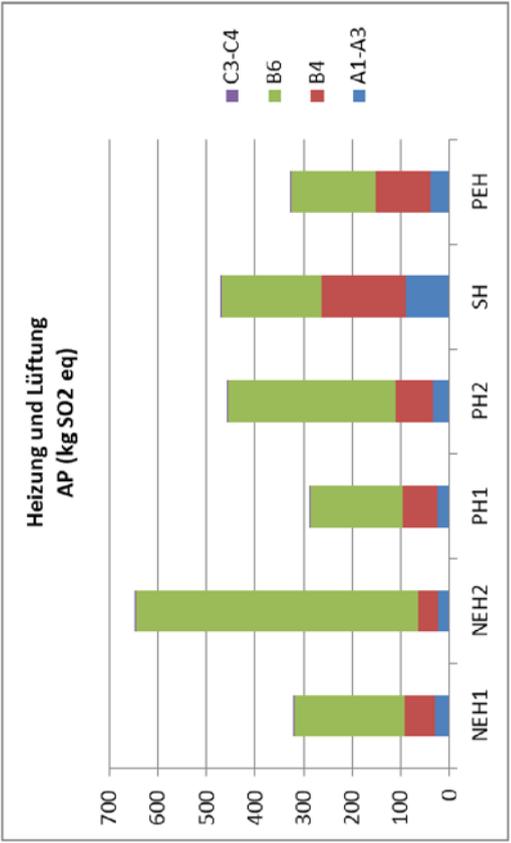


Abbildung 7: Kumulierte LCA Ergebnisse Versauerungspotenzial total und Ozonzerstörungspotenzial für alle Haustechnikvarianten

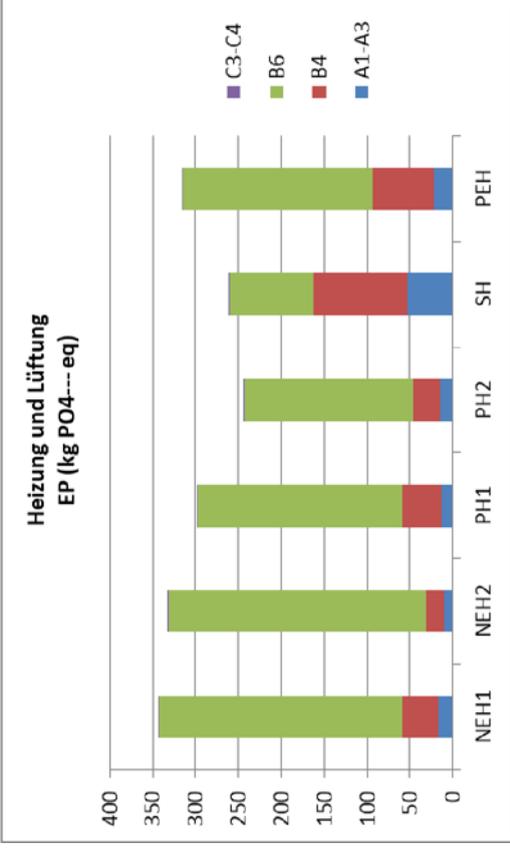
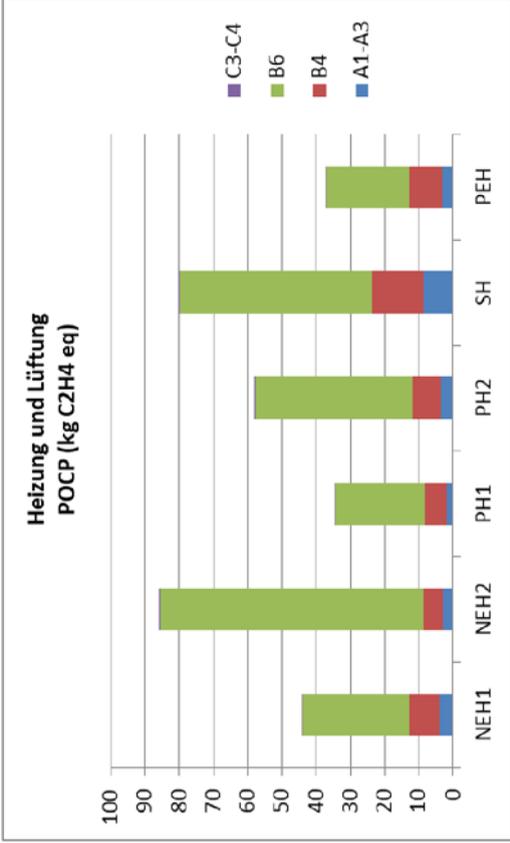


Abbildung 8: Kumulierte LCA Ergebnisse Potenzial für Bildung troposphärischen Ozons und Eutrophierungspotenzial für alle Haustechnikvarianten

Im Projekt wurde die JAZ 3,0 für alle Wärmepumpen gleich angesetzt. Bei der Korrektur wurde intern kritisiert, dass die JAZ der Sole-Wärmepumpen nicht auf 4,5 angehoben wurde. Eine Aufstellung der Berechnungsergebnisse der Variante NEH1 zeigt die Auswirkungen der Eingabe unterschiedlicher JAZ in das Energieausweisprogramm (Tabelle 5).

Tabelle 5: Gegenüberstellung der Energiebedarfe der Wärmepumpen-Variante NEH1 bei unterschiedlichen Jahresarbeitszahlen (JAZ)

JAZ (Eingabe)	Leistung [W] (Default)	RH WP- Strom	RH HE _{el}	WW WP- Strom	WW HE _{el}	WP HE _{el}	kWh/m ² a	kWh/a	Diff. zu JAZ 3	in % von JAZ 3
3,0	500	8,35	0,10	3,26	0,79	2,80	15,31	3384		
4,0	375	8,18	0,10	3,10	0,79	2,03	14,20	3138	-245	-7
4,5	333	8,18	0,10	3,10	0,79	1,80	13,97	3087	-296	-9
5,0	300	8,18	0,10	3,10	0,79	1,62	13,79	3048	-336	-10
5,5	273	8,18	0,10	3,10	0,79	1,48	13,65	3017	-367	-11

Die Werte der Vergleichsrechnung zeigen deutlich, dass die Eingabe der Jahresarbeitszahl nur einen geringen Einfluss auf das Ergebnis des Gesamtenergieverbrauchs hat. Rein für die Deckung des Heizwärmebedarfes wäre anzunehmen, dass sich bei einer JAZ von 4,5 gegenüber einer JAZ von 3 der Stromverbrauch um 1/3 verringert. Der WP-Strombedarf bleibt aber in der Berechnung konstant bei 8,18 und der Gesamtbedarf der Variante NEH1 an elektrischem Strom sinkt nur um 9 %. Bezogen auf ein Gesamtgebäude ist der Einfluss der JAZ also sehr gering.

3.1.2 LCA Ziegelgebäude

Die folgenden Abbildungen 9 bis 12 zeigen die bilanzierten Ökoindikatoren aller Ziegelvarianten im Verhältnis zueinander. Dabei ist jeweils der Wert des Niedrigenergiehauses Variante 1.1.1 Ziegel mit WDVS und Haustechnik NEH2 (mit Pelletsheizung) auf 100 Prozent gesetzt. In die Berechnungen der Ziegelvarianten sind die Ergebnisse der geänderten Berechnungen laut Abschnitt 2.5.3 (Seite 20) vollständig eingeflossen. Die Kodierung der Gebäudevarianten ist auf Seite 14 nachzulesen.

Abbildung 9 zeigt die Indikatoren Versäuerungspotenzial (AP) und Eutrophierungspotenzial (EP). Wie bereits in Abbildung 5 ersichtlich war, haben die mit Biomasse beheizten Gebäudevarianten höhere Versäuerungspotenziale als die mittels Wärmepumpe beheizten. Beim Eutrophierungspotenzial sind die Unterschiede geringer. Hier liegen die Passivhäuser leicht unter dem Niedrigenergiestandard.

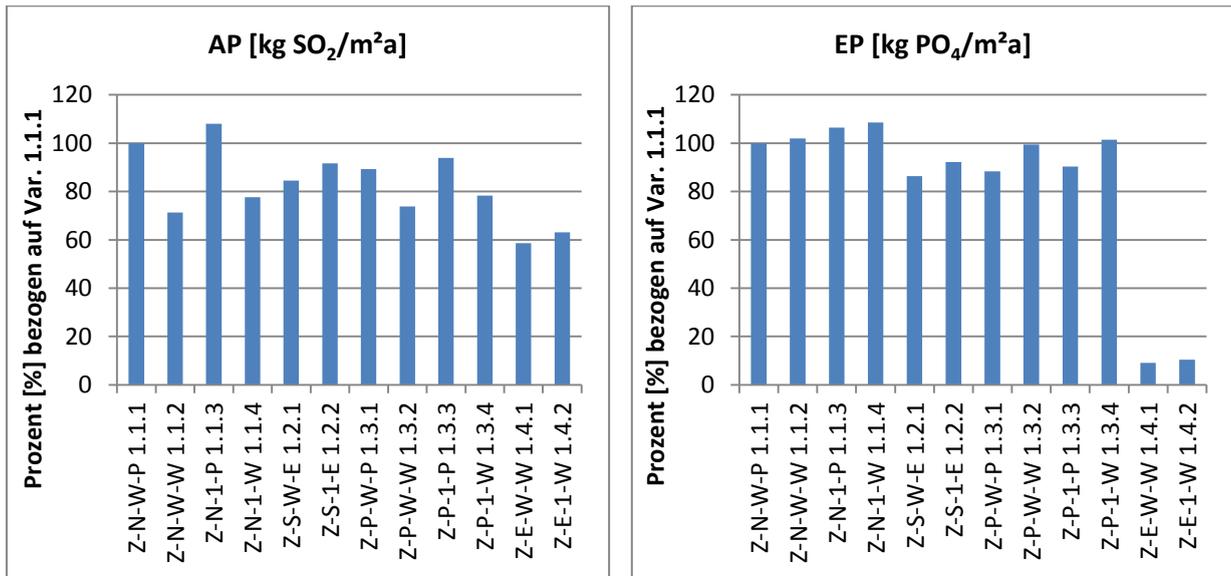


Abbildung 9: Vergleich des Versäuerungspotenzials (AP) und des Eutrophierungspotenzials (EP) der Ziegel-Gebäudevarianten⁴

Beim Treibhauspotenzial (GWP) erzielen die Sonnenhäuser abgesehen von den Plusenergiehäusern bessere Ergebnisse als die anderen Varianten. Beim Potenzial zum Abbau stratosphärischen Ozons (ODP) sind die Biomasse beheizten Ziegel-Gebäudevarianten wesentlich niedriger als die Wärmepumpenvarianten (Abbildung 10). Mit diesen beiden Indikatoren ist die Klimafreundlichkeit der Heizung mit Biomasse und Solarenergie beschrieben.

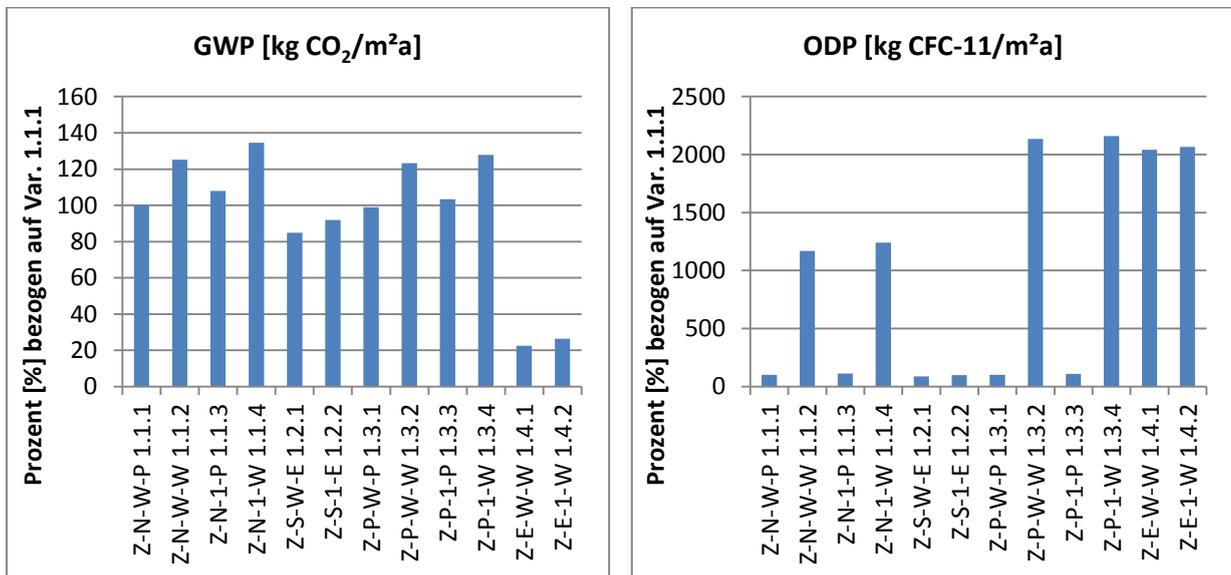


Abbildung 10: Vergleich des Treibhauspotenzials (GWP) und des Ozonabbaupotenzials (ODP) der Ziegel-Gebäudevarianten⁴

Das Potenzial zur Bildung von Photooxidantien ist bei biomassebeheizten Varianten höher (Abbildung 11), innerhalb der WP-Varianten sind kaum Unterschiede auszumachen. Beim

⁴ Kodierung der Gebäudevarianten siehe Seite 14

gesamten Primärenergieverbrauch liegen die Niedrigenergiehäuser mit Pelletsheizung deutlich über jenen mit Wärmepumpe, die Sonnenhäuser liegen nur geringfügig darüber.

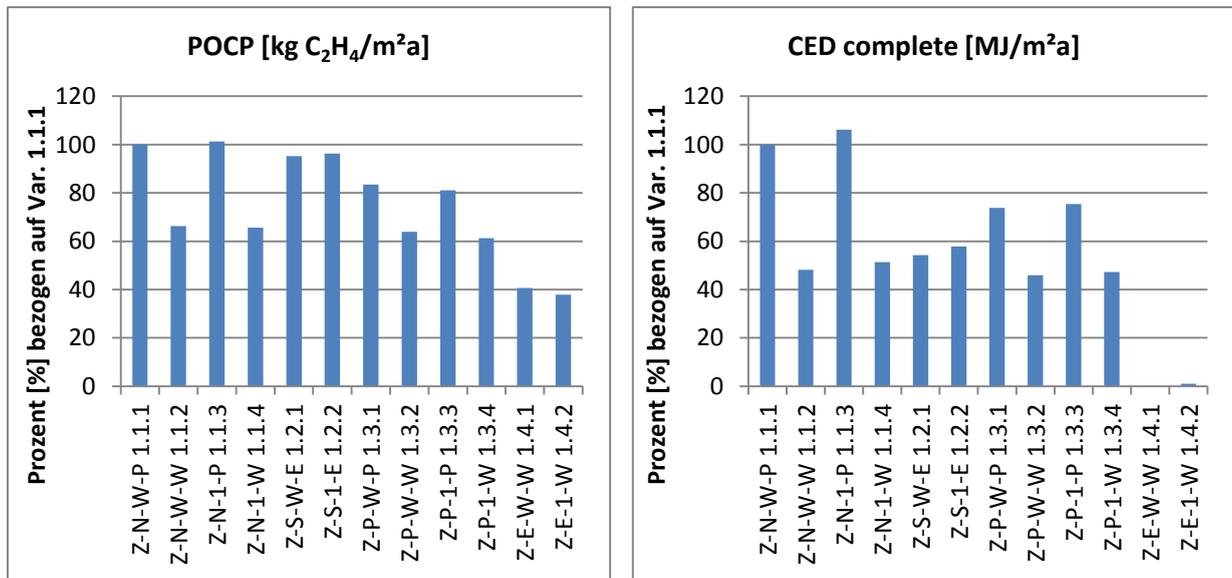


Abbildung 11: Vergleich des Potenzials zur Bildung von Photooxidantien (POCP) und der gesamte Primärenergieverbrauch (CED complete) der Ziegel-Gebäudevarianten⁵

Beim differenzierten Primärenergieverbrauch nicht erneuerbarer Energieträger liegt das Sonnenhaus unter den Werten der Passivhäuser, was einen niedrigeren Betriebsstromverbrauch für das Solarwärmesystem gegenüber dem Lüftungssystem mit Wärmerückgewinnung eines Passivhauses belegt. Der hohe Anteil der Deckung des Betriebsenergiebedarfes aus erneuerbaren Energieträgern bei den mit Biomasse und Solarwärme beheizten Gebäudevarianten ist mit den Ergebnissen in Abbildung 12 (rechts) belegt.

⁵ Kodierung der Gebäudevarianten siehe Seite 14

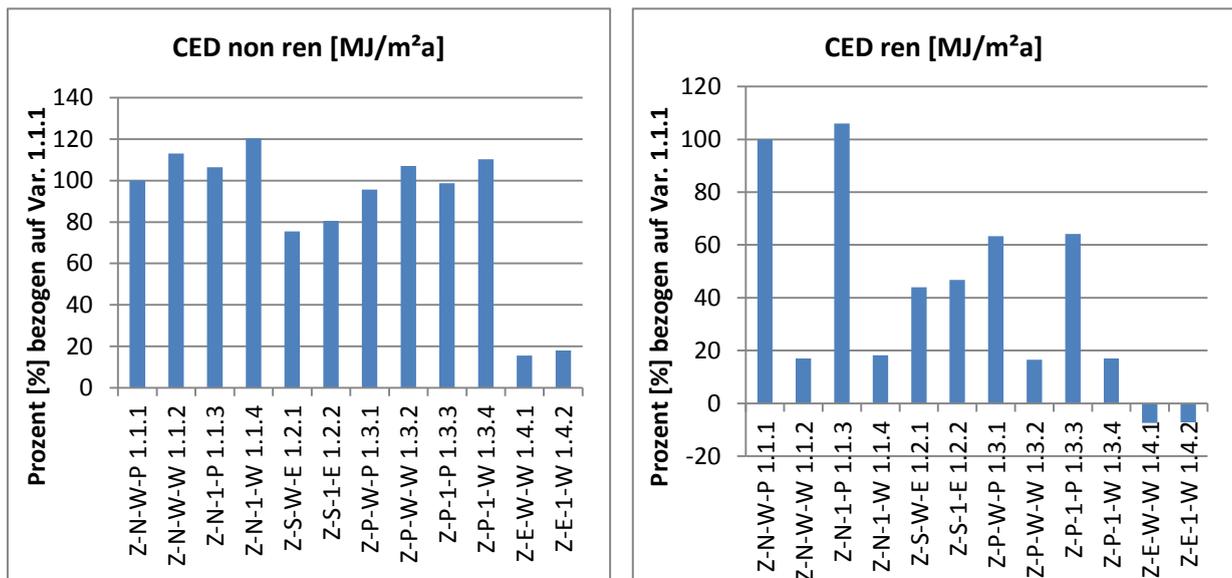


Abbildung 12: Vergleich des Primärenergieverbrauchs nicht erneuerbar (CED non r.) und erneuerbar (CED r.) der Ziegel-Gebäudevarianten⁶

3.1.3 LCA Betongebäude

In diesem Abschnitt werden die Bilanzierungsergebnisse der beiden Betonbauvarianten in Kombination mit den Haustechnikvarianten besprochen. Aus den Abbildungen 13 bis 16 kann neben dem Vergleich der Gebäudevarianten auch der Einfluss des Energieverbrauchs auf das Bilanzergebnis des jeweiligen Indikators gelesen werden. Der **rote** Balkenanteil definiert den Energiebedarf, der aus der Gebäudenutzung entsteht (Modul B6), und der **blaue** Balkenabschnitt fasst die restlichen Bilanzmodule (Herstellung A1-A3, Nutzung B4, Entsorgung C3-C4) zusammen. In die Berechnungen der Betonvarianten sind die Ergebnisse der geänderten Berechnungen laut Abschnitt 2.5.3 (Seite 20) vollständig eingeflossen.

Abbildung 13 zeigt das Versauerungspotenzial (AP) und das Eutrophierungspotenzial (EP) der sechs Haustechnikvarianten. Die mit Biomasse beheizten Gebäudevarianten weisen beim Indikator AP eine höhere Belastung auf als die mit Wärmepumpe betriebenen Varianten. Obwohl das Passivhaus mit Wärmepumpe einen wesentlich geringeren Heizwärmebedarf als das Niedrigenergiehaus mit Wärmepumpe aufweist, zeigen sich bei diesen beiden Varianten nur geringe Unterschiede im energiebedingten Versauerungspotenzial. Diese Unterschiede sind vor allem auf den erhöhten Strombedarf durch die kontrollierte Wohnraumlüftung bei der Passivhausvariante zurückzuführen. Der Energieverbrauch während der Gebäudenutzung schlägt beim AP v.a. beim NEH2 (Pelletsheizung) zu Buche, beim SH liegt der Anteil der anderen Module etwas über den Werten der anderen Varianten, was im höheren Materialbedarf begründet ist. Einen gewissermaßen Sonderfall stellt das Plusenergiehaus dar. Wie aus den Abbildungen ersichtlich ist, erhöht die Photovoltaik (PV)-Anlage zu-

⁶ Kodierung der Gebäudevarianten siehe Seite 14

nächst die Belastungen aus der Herstellung und Erneuerung und Entsorgung signifikant (blauer Balken). Gegen die PV-Anlage mit einer sehr vorsichtig angenommenen Nutzungsdauer von 20 Jahren sind die Beiträge der „anderen Elektro- und Sanitärkomponenten“ im Vergleich zur Herstellung und Erneuerung der PV-Anlage gering. Die vermiedenen Umweltbelastungen durch den PV-Stromertrag sind jedoch deutlich (z.B. GWP x4) höher als die Belastungen aus der Herstellung und Erneuerung der PV-Anlage und kompensieren in manchen Fällen die Umweltlasten aus Herstellung und Erneuerung und Entsorgung und Nutzung (Beheizung, Lüftung).

Bei der Wirkungskategorie EP zeigen sich mit Ausnahme des Plusenergiehauses keine wesentlichen Unterschiede zwischen den einzelnen Gebäude- und Haustechnikvarianten.

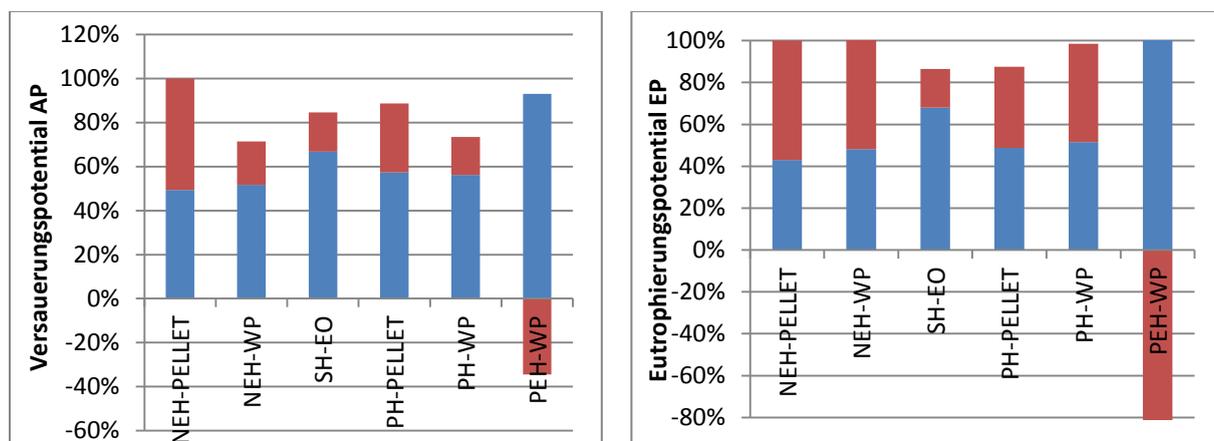


Abbildung 13: Versauerungspotenzial (AP) und Eutrophierungspotenzial (EP) aller Haustechnikvarianten in Betonbauweise⁷

Abbildung 14 stellt die Indikatoren Treibhauspotenzial (GWP) und Potenzial zum Abbau stratosphärischen Ozons dar. Es zeigt sich, dass die Niedrigenergie-, Passiv- und Sonnenhausvarianten in Betonbauweise hinsichtlich ihres Treibhausgaspotenzials bei der Betrachtung der Phasen für Herstellung, Austausch und Entsorgung in ähnlichen Größenordnungen liegen. Der höhere Wert des Plusenergiehauses (PEH) ist, wie zuvor erwähnt, auf die umfangreichere Haustechnik (Photovoltaik, Wärmepumpe und kontrollierte Wohnraumlüftung) zurückzuführen, wird jedoch durch die vermiedenen Umweltbelastungen durch den PV-Stromertrag mehr als kompensiert (roter Balken im negativen Bereich der Skala). Bei der Betrachtung des gesamten Lebenszyklus weisen die biomassebeheizten Gebäudevarianten insgesamt ein geringeres Treibhausgaspotenzial auf.

Beim Indikator Ozonabbaupotenzial fällt auf, dass die wärmepumpenbeheizten Gebäudevarianten eine signifikant höhere Umweltbelastung aufweisen. Ausschlaggebend ist der verwendete Datensatz der ecoinvent-Datenbank für die Produktion des Kältemittels für den Wärmepumpenkreislauf.

⁷ Varianten siehe Tabelle 1, Seite 13

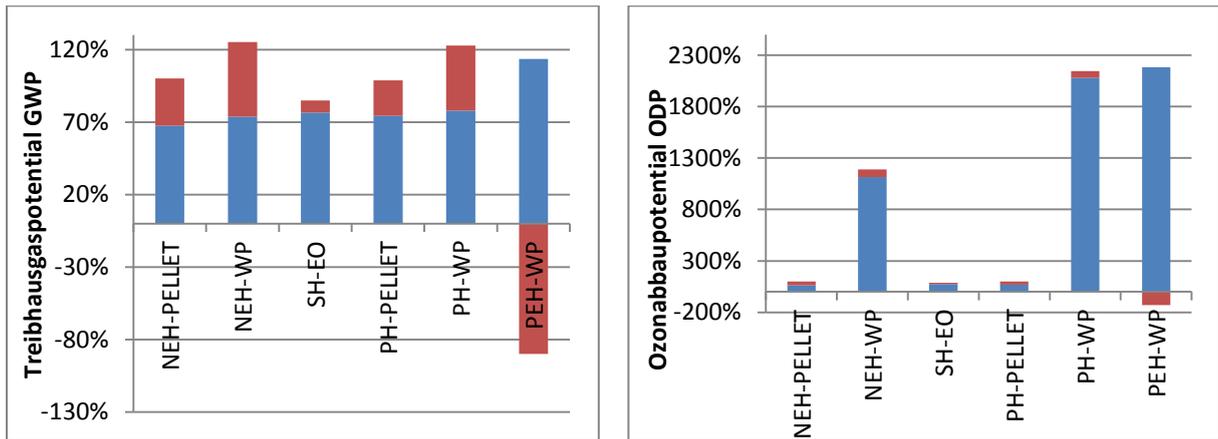


Abbildung 14: Treibhausgaspotenzial (GWP) und Ozonabbaupotenzial (ODP) aller Haustechnikvarianten in Betonbauweise⁸

Die biomassebeheizten Gebäudevarianten weisen beim Ozonbildungspotenzial eine signifikant höhere Belastung als die mit Wärmepumpe betriebenen Varianten auf. Ähnlich wie beim Treibhausgaspotenzial reduziert der Stromertrag durch die PV-Anlage die höheren POCP-Emissionen der Plusenergiehausvariante deutlich.

Der Primärenergiebedarf gesamt wird im Wesentlichen vom Primärenergiebedarf erneuerbar dominiert. Die Gebäudevarianten mit Wärmepumpe schneiden bei diesem Indikator deutlich besser ab als die biomassebeheizten Gebäudevarianten.

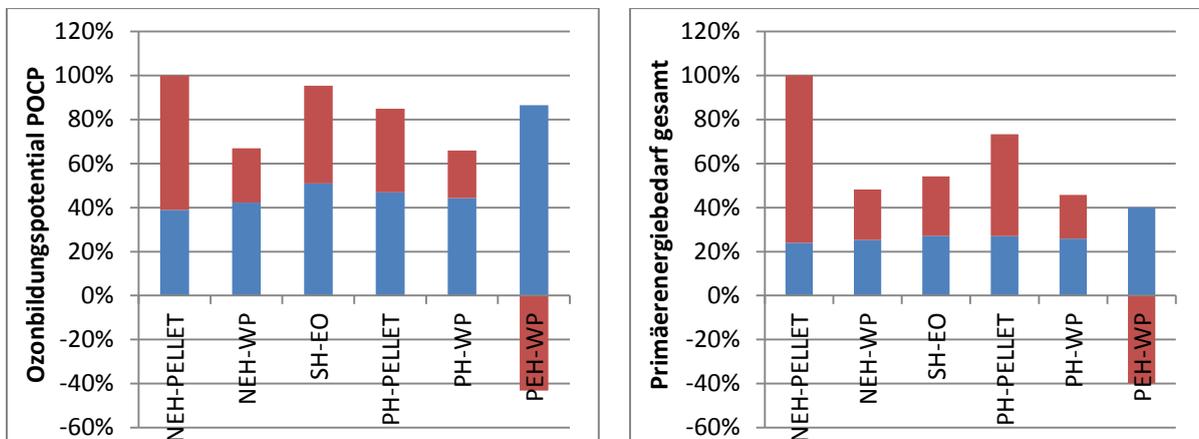


Abbildung 15: Potenzial zur Bildung von Photooxidantien (POCP) und Primärenergiebedarf gesamt aller Haustechnikvarianten in Betonbauweise⁸

Abbildung 15 zeigt die Relationen der Primärenergieverbräuche erneuerbar und nicht erneuerbarer Energieträger bei den Betongebäudevarianten zueinander. Durch den Einsatz von Solarthermie in Kombination mit der Biomasseheizung schneidet das Sonnenhaus beim Indikator Primärenergiebedarf nicht erneuerbar besser ab als die Passiv- und Niedrigenergiehausvarianten. Wie auch bei den meisten Indikatoren führt der Abzug der vermiedenen Um-

⁸ Varianten siehe Tabelle 1, Seite 13

weltbelastung durch die PV-Stromerzeugung beim Plusenergiehaus zu einem niedrigeren Niveau. Der Primärenergiebedarf aus erneuerbaren Energieträgern wird von den biomasse-beheizten Gebäudevarianten wesentlich beeinflusst.

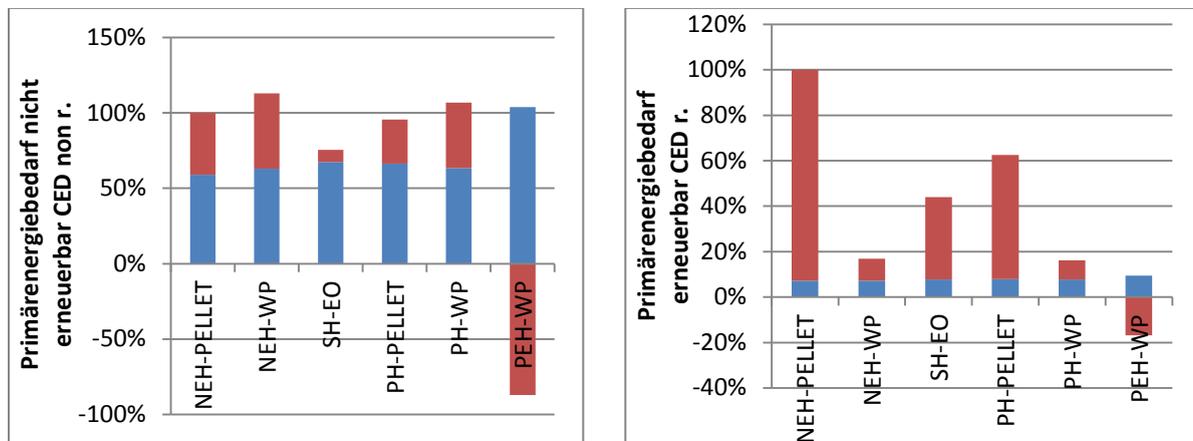


Abbildung 16: Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (CED non r.) und erneuerbar (CED r.) aller Haustechnikvarianten in Betonbauweise⁹

Und wieder zeigt sich der große Einfluss des Haustechnikkonzeptes und die Wahl der Energieträger auf das Gesamtergebnis der Indikatoren. Abbildung 17 stellt die besprochenen Indikatoren noch einmal gesammelt dar.

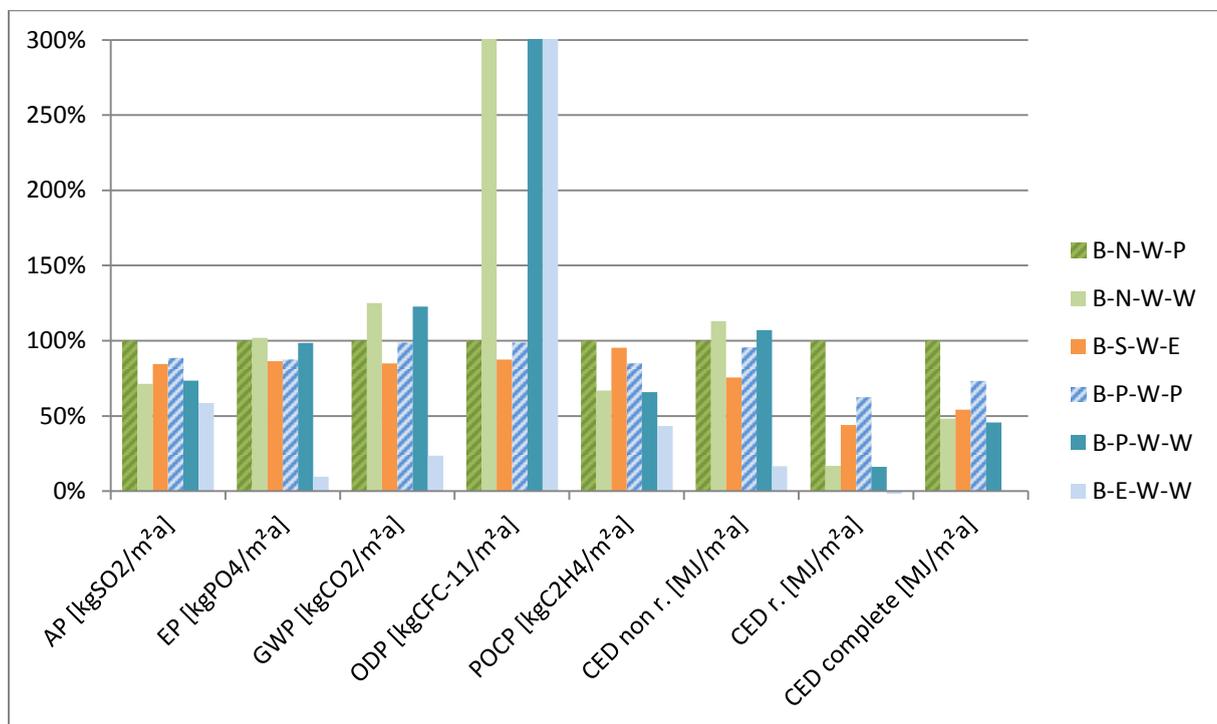


Abbildung 17: Gesamtvergleich aller Ökoindikatoren der Gebäudevarianten in Betonbauweise⁹

⁹ Varianten siehe Tabelle 1, Seite 13; Kodierung der Gebäudevarianten siehe Seite 14

3.1.4 LCA Holzspangebäude

In den Abbildungen 18 bis 21 sind die analysierten Ökoindikatoren bezogen auf Variante 3.1.1 (100 Prozent). In die Berechnungen der Betonvarianten sind die Ergebnisse der geänderten Berechnungen laut Abschnitt 2.5.3 (Seite 20) vollständig eingeflossen.

Der Vergleich der Gebäudevarianten hinsichtlich ihrer Ökoindikatoren zeigt ein vergleichbares Bild mit den Ziegel-Gebäudevarianten. Je nach betrachtetem Indikator schneiden unterschiedliche Konzepte aus ökologischer Sicht günstiger bzw. ungünstiger ab.

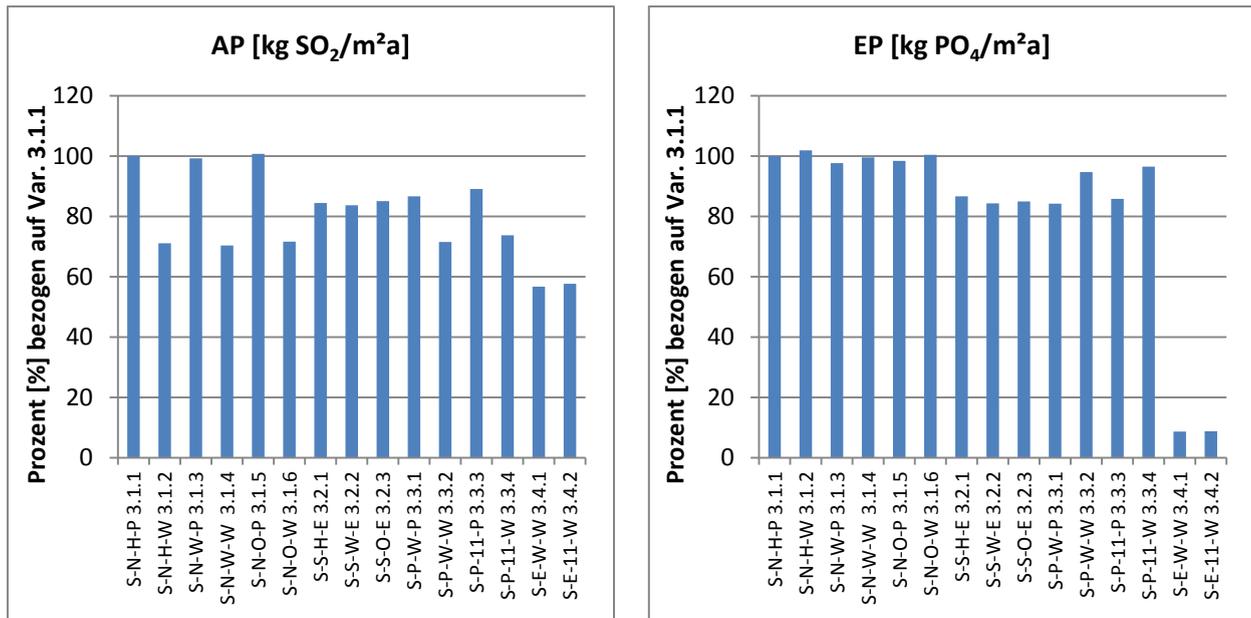


Abbildung 18: Gesamtvergleich des Versäuerungspotenzials und des Eutrophierungspotenzials der Holzspanbetonvariante¹⁰

¹⁰ Kodierung der Gebäudevarianten siehe Seite 14

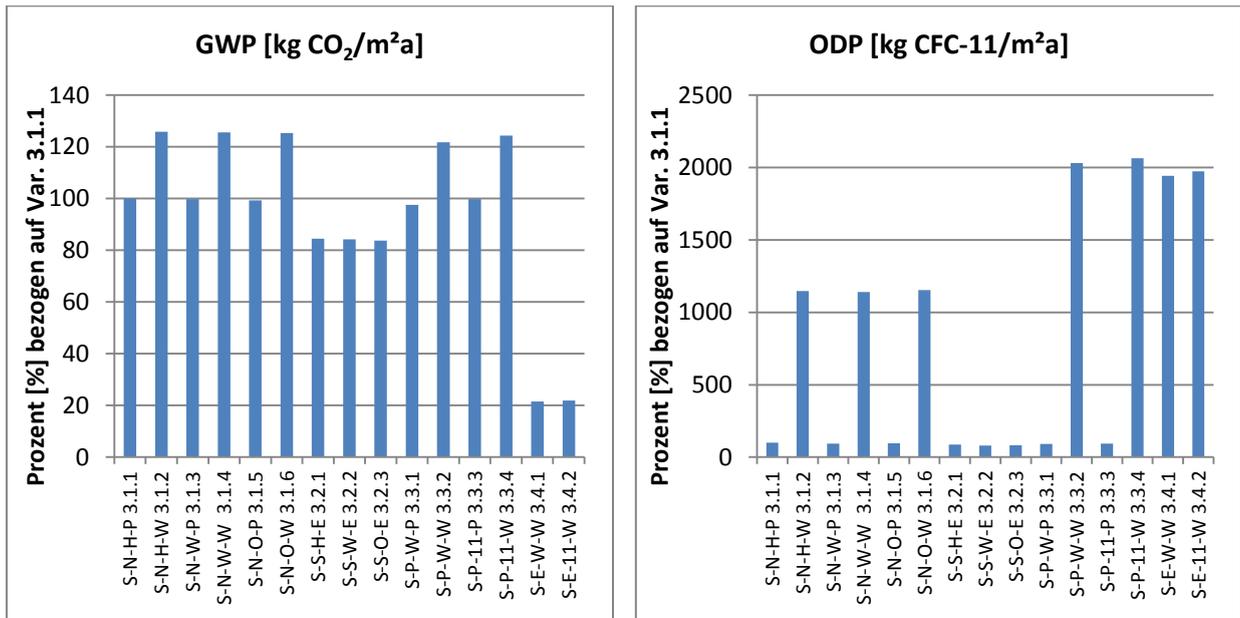


Abbildung 19: Gesamtvergleich des Versäuerungspotenzials und des Eutrophierungspotenzials der Holzspanbetonvarianten¹¹

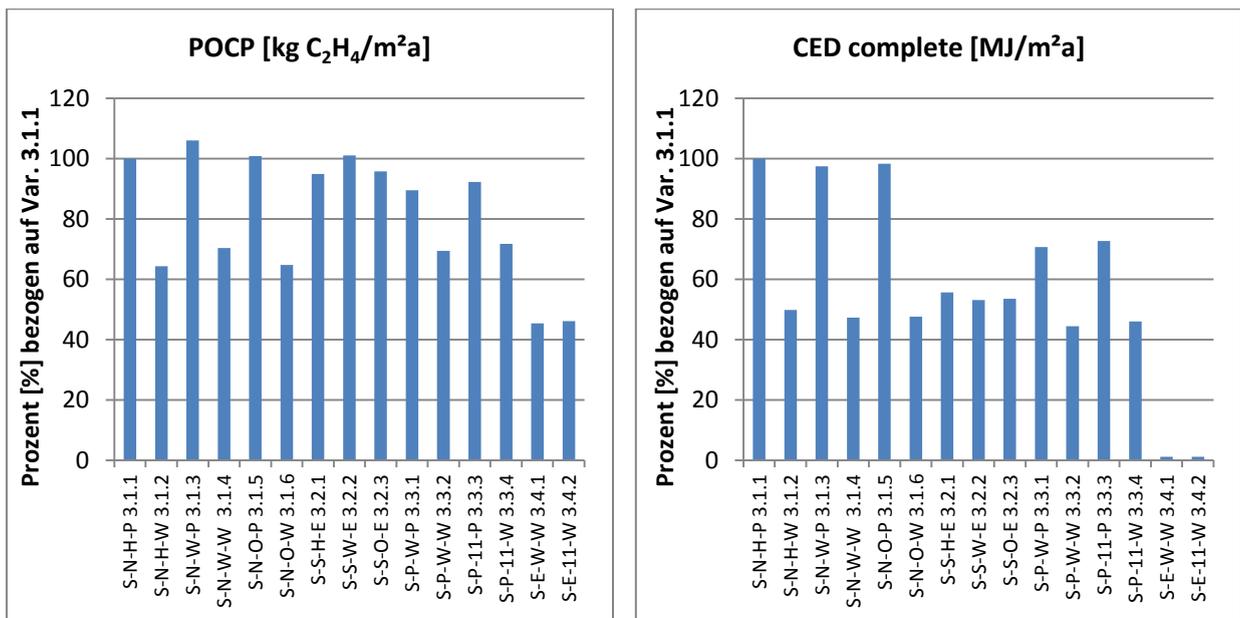


Abbildung 20: Gesamtvergleich des Potenzials zur Bildung von Photooxidantien (POCP) und der gesamten Primärenergieverbrauchs (CED complete) der Holzspanbetonvarianten¹¹

¹¹ Kodierung der Gebäudevarianten siehe Seite 14

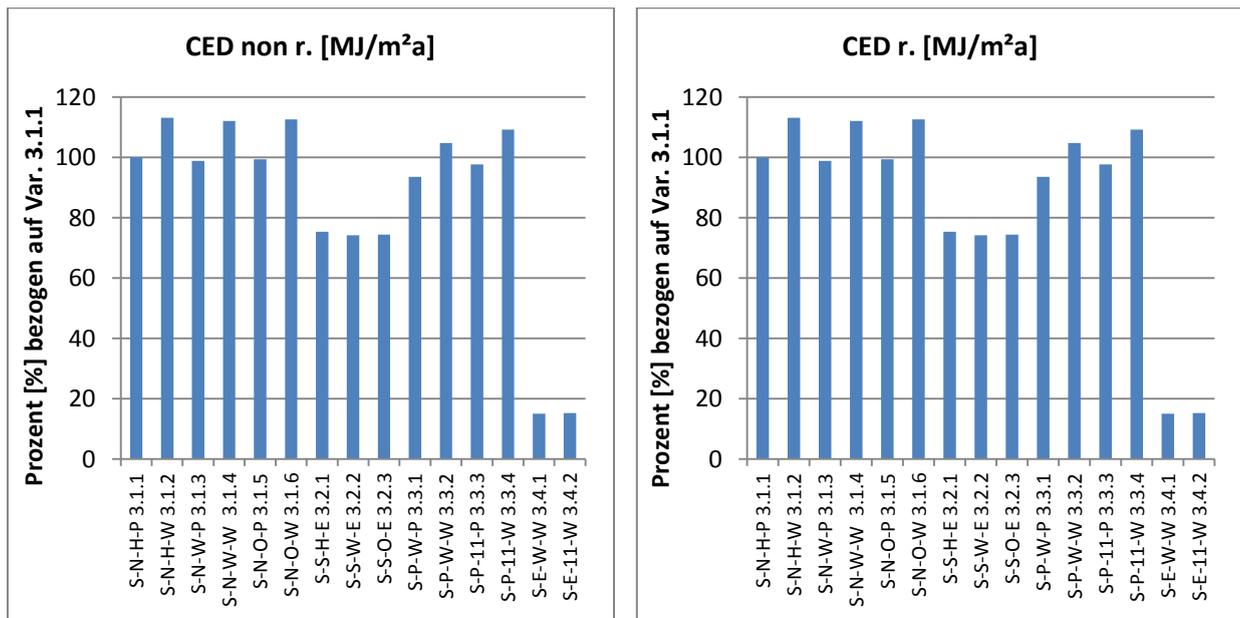


Abbildung 21: Gesamtvergleich des Primärenergieverbrauchs nicht erneuerbar und erneuerbar der Holzspanbetonvarianten¹²

Markante Unterschiede zeigen sich bei der Betrachtung der Indikatoren erneuerbare Energieressourcen, Ozonbildungspotenzial (POCP) sowie beim Ozonschichtabbaupotenzial (ODP). Die Konzepte mit Heizenergieversorgung durch Wärmepumpe verbrauchen systembedingt relevant weniger Energieressourcen und tragen weniger zur Ozonbildung bei. Beim Ozonschichtabbaupotenzial hingegen sind die Konzepte mit Pelletsheizung deutlich im Vorteil.

Keine Variante schneidet bei allen betrachteten Umweltparametern am besten ab. Das Plusenergiehaus hebt sich jedoch über alle Indikatoren gesehen am deutlichsten von den anderen ab. Mit Ausnahme des Ozonschichtabbaupotenzials wurden bei diesem Gebäudekonzept die geringsten Umweltauswirkungen ermittelt. Zusammenfassend ist festzuhalten, dass bei der angewandten Untersuchungsmethode die Wahl des Haustechniksystems und die Wahl des Gebäudeenergiestandards eine wesentlichere Bedeutung hat als die betrachtete Variation des Außenwandaufbaues.

3.1.5 LCA Holzgebäude

Im Folgenden werden die Bilanzierungsergebnisse der Holzbau-Gebäudevarianten vorgestellt.

Wichtige Anmerkung: Zu betonen ist, dass die Bilanzierung der Holzbauvarianten mit einem anderen Programm (andere Datenbank) erfolgte (vgl. Abschnitt 2.5.4 und 2.5.5), als die Massivbau-Varianten. Außerdem sind die Änderungen laut Abschnitt 2.5.3 (Seite 20) in die Berechnungen der Holz-Gebäudevarianten nicht übernommen worden, weshalb vor allem das Sonnenhaus völlig falsche Ergebnisse zeigt, da zum Zeitpunkt der nicht korrigierten Be-

¹² Kodierung der Gebäudevarianten siehe Seite 14

rechnung die Solarerträge nur zu 20 % in die Gesamtergebnisse übernommen werden konnten (Methodik der Energieausweisprogramme). In die Gesamtübersicht der Indikatoren (Abschnitt 3.1.7) sowie in die Lebenszykluskostenberechnung (Abschnitt 3.4) sind die Korrekturen eingeflossen.

3.1.5.1 Analyse der Holzgebäude ohne Haustechnik

Die Bauvarianten der Holzbauweise unterscheiden sich vor allem durch die Aufbauten der Außenwände (inklusive Holzfassade anstelle eines Wärmedämmverbundsystems) sowie den Innenausbau (Zwischendecke, Innenwände) von den anderen Varianten. Der Keller inkl. Boden und Decke sowie der Dachaufbau sind mit den Massivbauvarianten des entsprechenden Energiestandards ident.

Innerhalb der Holzbauvarianten werden Holzmassivbauweise und Holzrahmenbauweise unterschieden. Die Außenwände der Holzmassivbauweise bestehen aus 78 mm mehrlagigem Brettsperrholz, Lattung, Dämmung und Holzschalung. Die Zwischendecke und die tragenden Innenwände sind ebenfalls aus Brettsperrholz. Die Außenwände der Holzrahmenbauweise bestehen nur aus einer gedämmten Pfosten-Riegelkonstruktion mit Dämmung und Holzschalung. Zwischendecke und tragende Innenwände sind in Leichtbauweise ausgeführt. Abhängig vom Energiestandard unterscheiden sich nur die Dicken der Bauteile der thermischen Gebäudehülle.

Abbildung 22 zeigt einen Vergleich der analysierten Indikatoren über den Lebenszyklus der Holzbauvarianten. Umweltbelastungen entstehen vor allem bei der Herstellung der Baumaterialien für die Errichtung und Instandhaltung sowie bei der Entsorgung. Der Energieverbrauch für die Konditionierung der Gebäude (Phase B6) ist in dieser Darstellung nicht enthalten. Aufgrund der unterschiedlichen Einheiten wurde die Bauvariante „Holzrahmenbauweise mit Mineralwolledämmung im Niedrigenergiestandard“ HR-N-M als Ausgangsvariante gewählt (entspricht 100 %) und alle anderen Varianten dazu in Relation gesetzt.

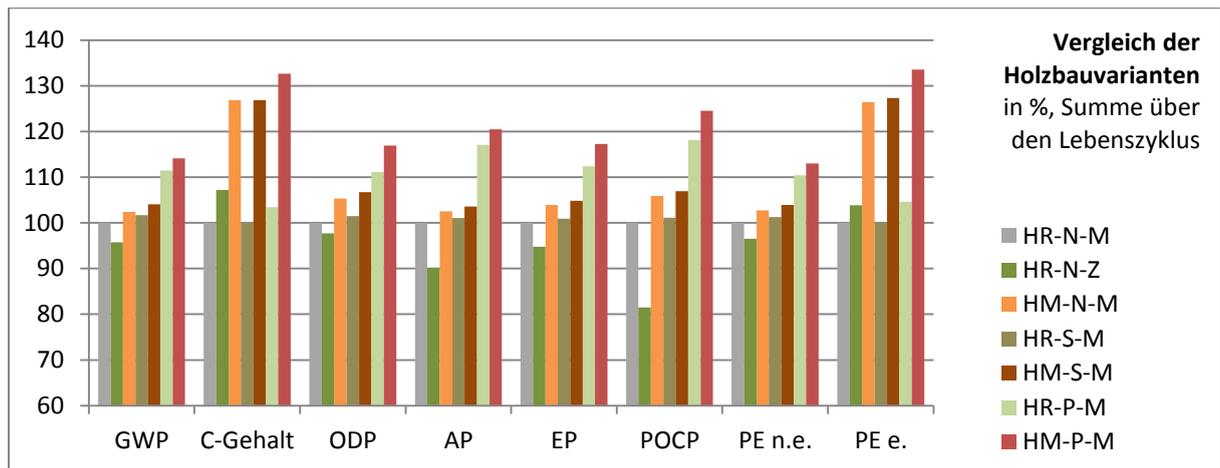


Abbildung 22: Vergleich der bilanzierten Indikatoren über den Lebenszyklus der Holzbauvarianten (ohne Haustechnik und Betriebsenergieverbrauch)¹³

Legende

HR Holzrahmen, N Niedrigenergiehaus, M Mineralwolle, Z Zellulosefaser, HM Holzmassiv, S Sonnenhaus, P Passivhaus

Abbildung 23 zeigt, dass die Indikatorwerte für die Massivholzbauweise bei gleichem Energiestandard stets etwas höher liegen, als jene für die Holzrahmenbauweise. Das bedeutet, dass über den Lebenszyklus gesehen höhere Umweltbelastungen auftreten. Der biogene Kohlenstoffgehalt (C-Gehalt) im Baumaterial liegt bei den Holzmassivbauvarianten um rund 25 % höher als bei der Holzrahmenbauweise. Dieser Effekt zeigt sich einerseits in den ebenfalls um ca. 25 % über den Holzrahmenbauweisen liegenden Werten für den Indikator „Primärenergie, erneuerbar“ (PE e.).¹⁴

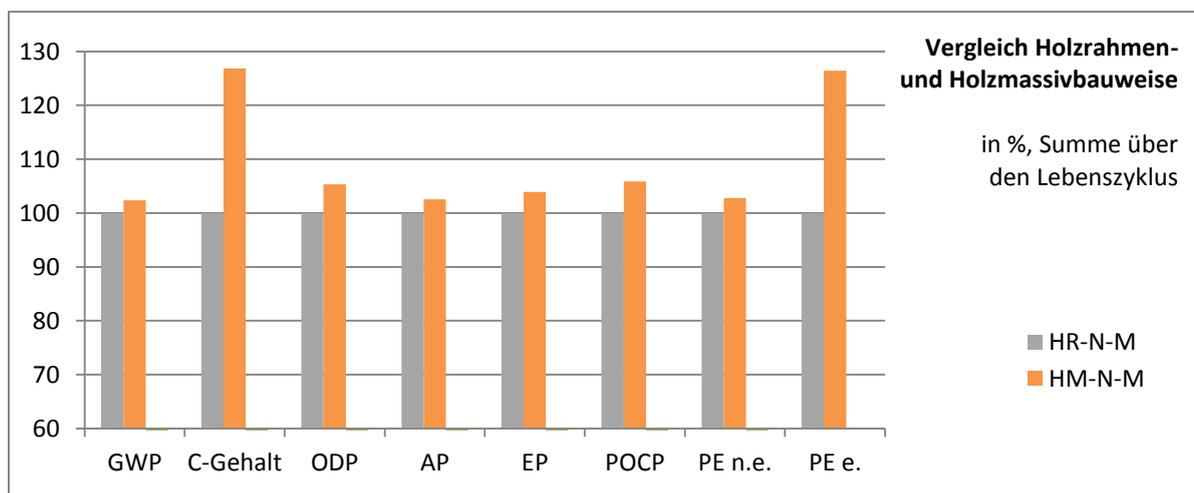


Abbildung 23: Vergleich der analysierten Indikatoren über den Lebenszyklus für ein Gebäude in Holzrahmenbauweise und in Holzmassivbauweise im Niedrigenergiestandard¹³

¹³ Kodierung der Gebäudevarianten siehe Seite 14

¹⁴ Zum Zeitpunkt der ersten Bilanzierung gängige Energieausweisprogramme konnten den nutzbaren Solarertrag der Sonnenhäuser nicht vollständig in die Berechnung einbeziehen. Die Hilfsenergiebedarfe für die Biomasseheizungen sind standardmäßig in den Energieausweisprogrammen zu hoch angesetzt und entsprechen nicht dem modernen Stand der Technik. Die korrigierten Haustechnik-Berechnungen sind in die Holzbau-Varianten nicht eingeflossen.

Abbildung 24 zeigt das Treibhauspotenzial der Holzbauvarianten über den gesamten Lebenszyklus als rote Säule sowie den biogenen Kohlenstoffgehalt der Baumaterialien in grün. Der biogene Kohlenstoffgehalt verhält sich proportional zu möglichen Substitutionsgewinnen in Modul D. Je höher der biogene Kohlenstoffgehalt in einem Baumaterial ist, umso mehr erneuerbare Energie kann bei einer thermischen Verwertung genutzt werden und desto mehr fossile Brennstoffe könnten eingespart werden.¹⁵ Die möglichen Substitutionsgewinne in Modul D sind dennoch niedriger als der biogene Kohlenstoffgehalt, da die Wirkungsgrade bei der Verbrennung berücksichtigt werden müssen. In dieser Abbildung wird deutlich, dass in jenen Gebäuden, die in Massivholzvariante ausgeführt sind, der biogene Kohlenstoffgehalt der Materialien deutlich höher ist und die Mehrbelastung bei der Herstellung der Materialien ausgleichen kann.

Einen etwas höheren biogenen Kohlenstoffgehalt in den Baumaterialien zeigt jene Holzrahmenbauvariante, in der statt Mineralwollgedämmung eine Zellulosedämmung eingesetzt wird (HR-N-Z gegenüber HR-N-M). Zusätzlich zu den möglichen Substitutionsgewinnen hat diese auch in allen Phasen des Lebenszyklus deutlich geringere Umweltwirkungen als die vergleichbare Variante mit Mineralwollgedämmung (siehe Abbildungen 22, 24 und 25).

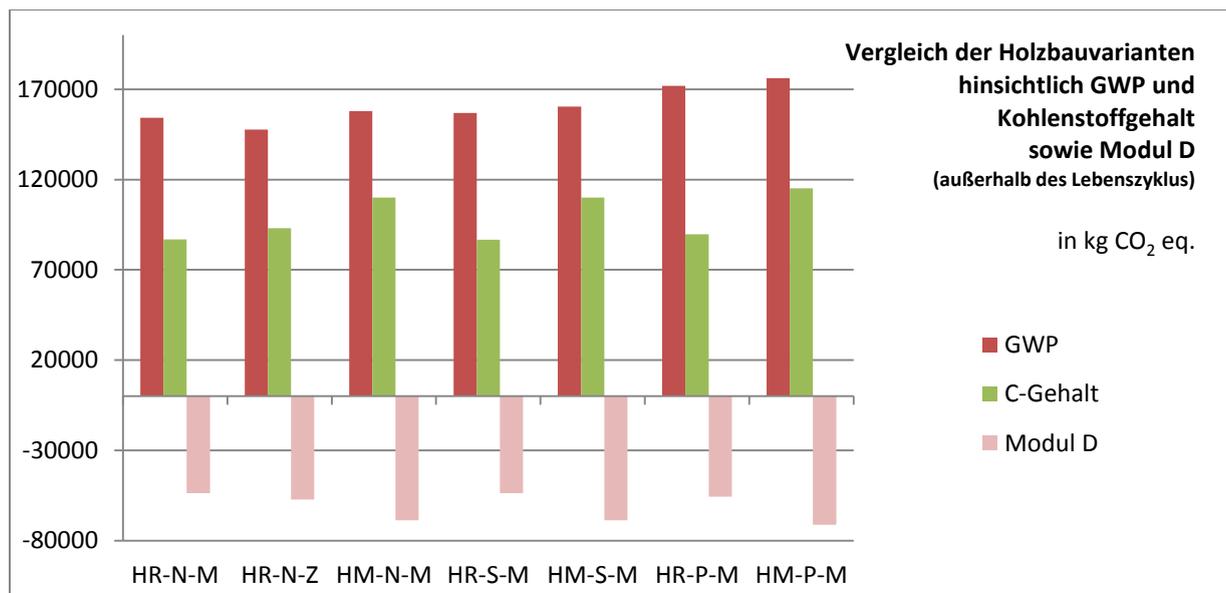


Abbildung 24: Treibhauspotenzial (GWP), Kohlenstoffgehalt und Einsparungen außerhalb des Lebenszyklus (Modul D) der Holzbauvarianten¹⁶

¹⁵ Die theoretisch umsetzbare erneuerbare oder nicht erneuerbare Energie aus thermisch verwerteten Baustoffen nach dem Gebäudeabbruch wird bilanztechnisch dem Nutzer dieser Energie zugeschrieben. Sie darf nicht dem Gebäude zugerechnet werden, da sie außerhalb der Bilanzgrenzen liegt.

¹⁶ Kodierung der Gebäudevarianten siehe Seite 14

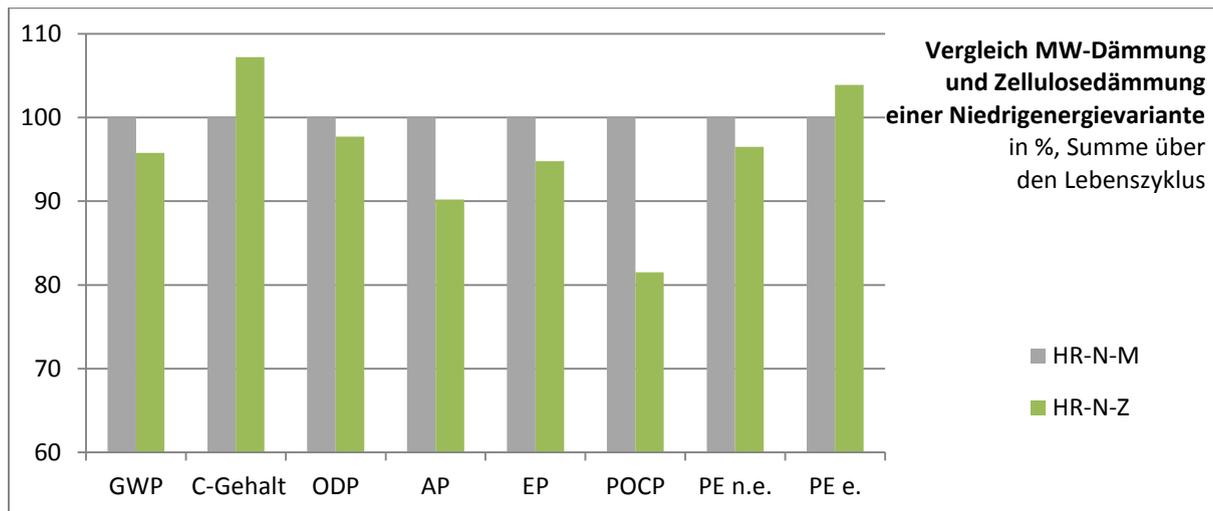


Abbildung 25: Vergleich der analysierten Indikatoren über den Lebenszyklus für die Verwendung von Mineralwolle- und Zellulosedämmung im Niedrigenergiehaus in Holzrahmenbauweise¹⁷

Der Vergleich der Holzbauvarianten zeigt, dass durch die Holzmassivbauweise ca. 30 % mehr Kohlenstoff in den Baumaterialien gebunden werden kann, als dies bei der Holzrahmenbauweise der Fall ist. Das Brettsperrholz kann am Ende des Lebenszyklus des Gebäudes thermisch verwertet werden und dabei fossile Brennstoffe substituieren.¹⁸ Noch besser wäre eine weitere stoffliche Nutzung der Holzwerkstoffe, bevor sie thermisch verwertet werden.

Der erneuerbare Kohlenstoffanteil (in Baustoffen) ist einer der wesentlichen ökologischen Vorteile von Holz als Baumaterial. Für eine ökologisch optimierte Bauweise sind jedoch auch jene Baumaterialien, die durch die Wahl von Holz als Baustoff ergänzend notwendig werden, relevant (z.B. Dämmstoffe, Folien, Gipskartonplatten). Durch die Wahl eines Dämmstoffes aus nachwachsenden Rohstoffen können die Umweltwirkungen eines Holzgebäudes signifikant verringert werden.

3.1.5.2 Erweiterter Lebenszyklus für eine beispielhafte Holzbauvariante

Wie im Kapitel zu den Methoden beschrieben, wurde für eine Bauvariante (Holzrahmenbauweise mit Mineralwollendämmung in Niedrigenergiestandard – HR-N-M) ein im Gegensatz zu den anderen LCA-Betrachtungen erweiterter Lebenszyklus analysiert. Dieser enthält auch Szenarien für die Phasen A4 und A5 (Transporte zur Baustelle und Errichtung vor Ort). Abbildung 26 zeigt die Unterschiede zwischen Berechnungen nach den von den anderen Baumaterialien (plus C2) gerechneten Lebenszyklusphasen und jenen nach dem „erweiterten“ Lebenszyklus. Je nach Indikator liegen die Ergebnisse dadurch zwischen 8 und 30 % höher.

¹⁷ Kodierung der Gebäudevarianten siehe Seite 14

¹⁸ Die theoretisch umsetzbare erneuerbare oder nicht erneuerbare Energie aus thermisch verwerteten Baustoffen nach dem Gebäudeabbruch wird bilanztechnisch dem Nutzer dieser Energie zugeschrieben. Sie darf nicht dem Gebäude zugerechnet werden, da sie außerhalb der Bilanzgrenzen liegt.

Auch im erweiterten Lebenszyklus bilden die gewählten Szenarien die Realität nicht ausreichend ab, die Untersuchung zeigt jedoch, dass Transporte und Errichtung einen relevanten Beitrag zu den Umweltbelastungen liefern und nach Möglichkeit in LCAs abgebildet werden sollten.

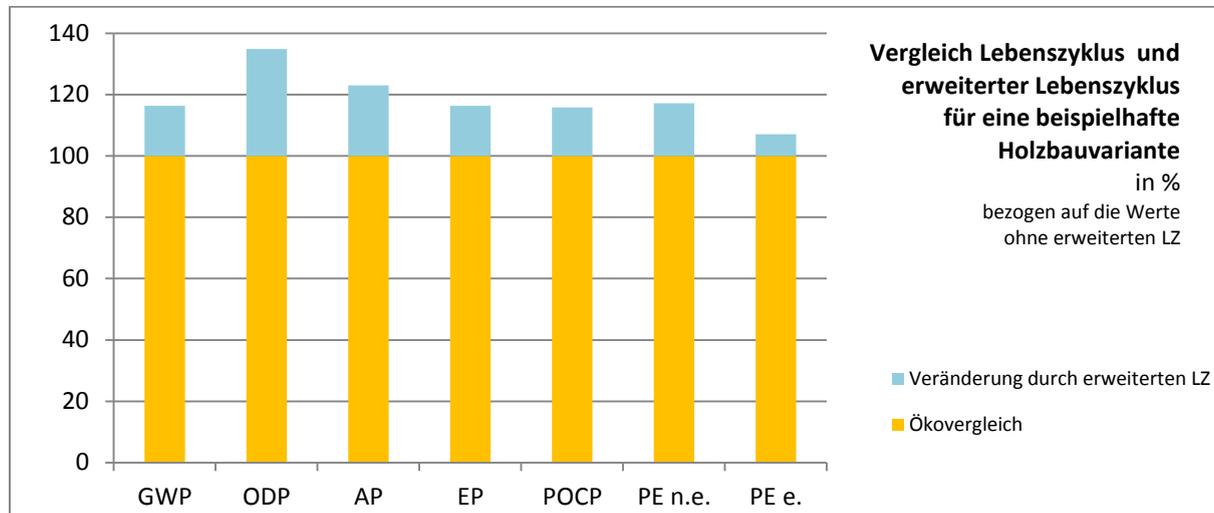


Abbildung 26: Vergleich der bilanzierten Lebenszyklusphasen mit einem erweiterten Lebenszyklus (inkl. Phase A4 und A5) am Beispiel des Niedrigenergiegebäudes in Holzrahmenbauweise mit Mineralwollgedämmung

3.1.5.3 Bilanzergebnisse der Holzbaugebäudevarianten (inklusive Haustechnik und Energieeinsatz während der Nutzung)

Die Ergebnisse der Berechnungen für die Holzbauvarianten wurden mit den Ergebnissen für die Haustechnikbilanzierung und den Energieeinsatz für Gebäudekonditionierung und Warmwasserbereitung während der Nutzung (Phase B6) zusammengeführt. Wie aus den Ergebnisdatenblättern (Anhang 2) ersichtlich, ist die Phase B6 für die Niedrigenergievarianten mit Pelletsheizung die dominante Lebenszyklusphase. Bei den Niedrigenergievarianten mit Wärmepumpe sowie bei den Sonnenhausvarianten liegt die Phase B6 etwa in der gleichen Größenordnung wie die Herstellungs- und Ersatzphase (A1-A3, B4). In den Passivhausvarianten liegen einige Indikatoren in den Herstellungs- und Ersatzphasen sogar unter der Phase B6 während beim Plusenergiehaus mittels PV-Anlage mehr Strom erzeugt und somit substituiert wird, als für die Gebäudekonditionierung und Warmwasserbereitung aufgewendet werden muss. In der Phase B6 sind daher negative Werte aufgetragen. Mit sinkendem Energiebedarf während der Nutzung durch einen anderen Energiestandard sinken zwar nicht die Umweltbelastungen bei der Errichtung und Instandhaltung eines Gebäudes (aufgrund der dickeren Dämmschichten steigen sie leicht an), dessen Optimierung sollte jedoch stärker in den Mittelpunkt rücken.

Abbildung 27 zeigt einen Gesamtvergleich der Gebäudevarianten in Holzrahmenbauweise. Für die Holzmassivbauweise ergibt sich ein ähnliches Bild. Die Ergebnisse beinhalten die jeweiligen Holzbauvarianten, die Haustechnik und den Energieeinsatz während der Nutzung.

Je höher die Energieeffizienz eines Gebäudes ist, desto geringer sind generell die Umweltwirkungen über den Lebenszyklus. Varianten mit Biomasseheizung schneiden bei den Indikatoren AP, EP und POCP sowie beim Primärenergiebedarf schlechter ab als jene mit Wärmepumpe. Bei den Indikatoren GWP und ODP schneiden Gebäude mit Biomasseheizung hingegen besser ab. Das Plusenergiegebäude (Gebäudehülle entspricht der Passivhausvariante) schneidet bei allen Indikatoren außer dem ODP am besten ab. Detaillierte Auswertungen dazu sind in Kapitel 3.1.1 zur Haustechnik zu finden.¹⁹

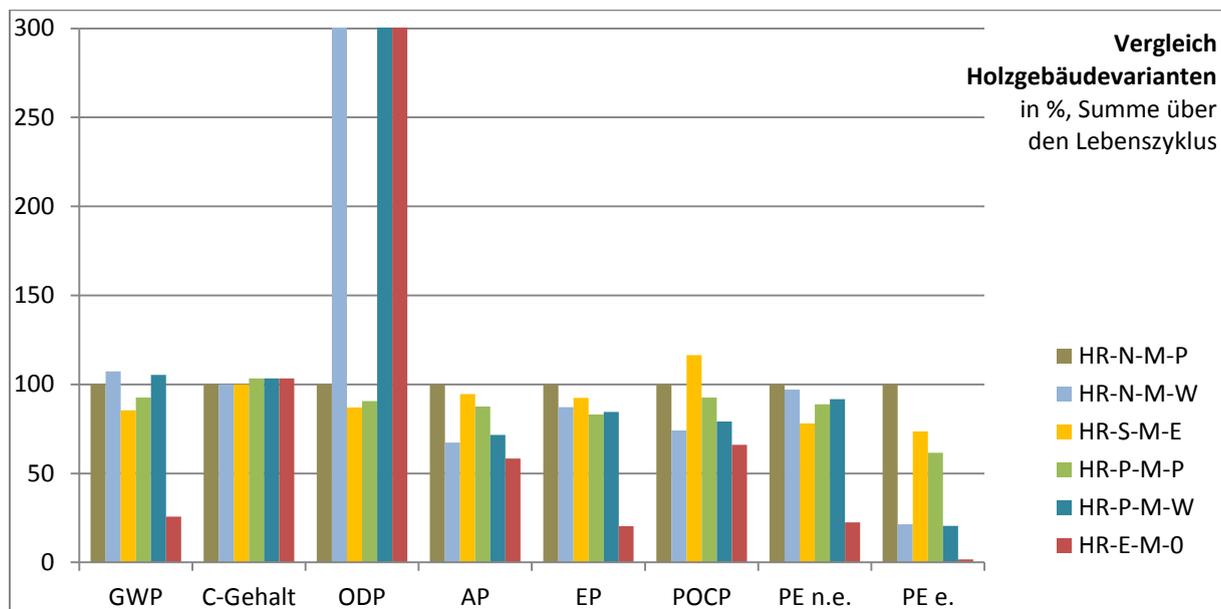


Abbildung 27: Vergleich der analysierten Indikatoren über den Lebenszyklus der Gebäude in Holzrahmenbauweise (Gebäudehülle, Haustechnik und Energieeinsatz während der Nutzung)²⁰

Die Ergebnisse zeigen, wie relevant die Wahl der Haustechnik und des Energiestandards für die Umweltauswirkungen eines Gebäudes sind. Darüber hinaus wird klar, dass keine Variante bei allen Indikatoren am besten abschneidet.

3.1.6 Ergänzende Informationen außerhalb des Lebenszyklus (Modul D)

Modul D liegt gemäß ÖN EN 15978 und EN 15804 außerhalb des Lebenszyklus eines Gebäudes. Es beschreibt Gutschriften und Lasten, die nach dem Lebensende eines Gebäudes auftreten. Diese stehen in der Regel im Zusammenhang mit Wiederverwertungs-, Rückgewinnungs- und Recyclingprozessen von einzelnen Baustoffen.

Im gegenständlichen Gebäudevergleich beginnt dieses Modul erst in 100 Jahren nach dem Abschluss der jeweiligen Abfallbehandlungsschritte. Eine Abschätzung des Standes der

¹⁹ Zum Zeitpunkt der Bilanzierung gängige Energieausweisprogramme konnten den nutzbaren Solarertrag der Sonnenhäuser nicht vollständig in die Berechnung einbeziehen. Die Hilfsenergiebedarfe für die Biomasseheizungen sind standardmäßig in den Energieausweisprogrammen zu hoch angesetzt und entsprechen nicht dem modernen Stand der Technik. Die korrigierten Haustechnik-Berechnungen sind in die Holzbau-Varianten nicht eingeflossen.

²⁰ Kodierung der Gebäudevarianten siehe Seite 14

Technik von z.B. Recyclingverfahren in 100 Jahren oder von der Art und der Kohlenstoffintensität der Energiegewinnung (wichtig für allfällige Substitutionsgutschriften), der Transportemissionen etc. erschien dem Konsortium nicht seriös möglich, weshalb die Gutschriften und Lasten des Modul D nicht in die Bewertung aufgenommen wurden.

Im Folgenden wird am Beispiel eines Niedrigenergiehauses (B-N-W-P) und anhand einiger Strukturbaustoffe (Beton, Stahl, Dämmstoff, Holz) die Größenordnung des Modul D ergänzend abgeschätzt, um zu zeigen, dass nicht nur bei Holzbauten sondern auch bei Massivbauten Gutschriften in Modul D theoretisch möglich wären.

3.1.6.1 Recycling von Beton

Nach dem Rückbau von Betonbauteilen in Phase C1 (meist mit Longfrontbaggern) und dem Transport zur Betonrecyclinganlage (Phase C2), gelangt der Beton in die Brechanlage (C3). In der Brechanlage erreicht der Betonabbruch nach heutiger Rechtsprechung den „end-of-waste“ Status. Der Output am Ende des Brechvorgangs kann als Sekundärmaterial die Primärmaterialien Sand und Splitt/Schotter ersetzen. Während Strom- und Betriebsmittelverbrauch der Betonbrechanlage dem Modul C3 und damit dem Lebenszyklus des Gebäudes zugeordnet werden, wird eine ökobilanzielle Gutschrift durch die Substitution von Primärmaterial im Modul D ausgewiesen.

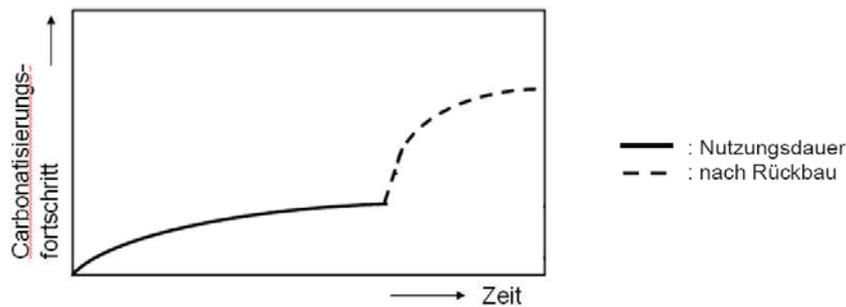
Laut der aktuell erschienenen EPD für einen Beton C 20/25 in Deutschland (IBU, 2013) beträgt beispielsweise die Gutschrift für den Parameter Treibhausgaspotenzial (GWP) $-23,08$ kg CO₂/m Beton, dies entspricht ca. 12 % der mit der Herstellung (A1-A3) verbundenen Treibhausgasemission. Beim Parameter nicht erneuerbare Primärenergie (PE n.e.) beträgt die Gutschrift in Modul D -319 MJ/m und somit knapp 38 % der Herstellenergie (A1-A3).

3.1.6.2 Carbonatisierung von Beton

Als Carbonatisierung bezeichnet man die Bildung von Calciumcarbonat aus calciumhaltigen Hydratationsprodukten im Zementstein des Betons. Bei diesem natürlichen Vorgang wird Kohlendioxid aus der Luft dauerhaft als CaCO₃ (Kalkstein) eingebunden. Dadurch wird die Freisetzung von Kohlendioxid bei der Herstellung von Baustoffen wie Beton und anderen zement- und kalkhaltigen Baustoffen (z.B. Putze) in einem gewissen Ausmaß rückgängig gemacht. Dies könnte als negatives Treibhauspotenzial (GWP) bzw. als CO₂-Gutschrift ausgedrückt werden. Die quantitative CO₂-Aufnahme im Carbonatisierungsprozess [Ca(OH)₂ + CO₂ → CaCO₃ + H₂O] kann in zwei Schritten bestimmt werden:

1. Berechnen der CO₂-Aufnahme pro Volumen carbonatisierten Betons [kg CO₂/m]. Für einen Beton C 20/25, wie im konkreten Fall verwendet, beträgt dieses Potenzial $-70,9$ kg CO₂/m Beton (Pade et.al, 2007).
2. Abschätzen des Anteils des carbonatisierten Betonvolumens [%] am Gesamt-Betonvolumen. Dieser Anteil hängt von sehr vielen verschiedenen Faktoren ab, insbesondere von den Umgebungsbedingungen und der Porosität des Betons. Der Car-

bonatisierungsfortschritt (in Masse aufgenommenen Kohlendioxids je Betoneinheit) verläuft qualitativ näherungsweise wie im folgenden Bild dargestellt.



(Quelle: IBU, 2013, EPD Beton)

Abbildung 28: Qualitativer Verlauf des Carbonatisierungsfortschritts in Beton

Das Brechen des Betons beim Rückbau sowie der weiteren Zerkleinerung und die hierdurch entstehenden größeren Oberflächen führen zu einem deutlichen Anstieg der Carbonatisierungsgeschwindigkeit nach dem Lebensende eines Betonbauwerks. Die Multiplikation dieser beiden Werte liefert den absoluten Wert der CO₂-Aufnahme in kg je Kubikmeter Beton.

In Pade et.al (2007) werden für verschiedene europäische Länder Abschätzungen für den Anteil des carbonatisierten Betonvolumens zum Zeitpunkt „100 Jahre nach Betonherstellung“ getroffen. Basierend auf Untersuchungen in anderen Ländern und der österreichischen Recyclingquote von Beton kann dieser Anteil für Österreich gleich wie in Deutschland mit ca. 70 % angenommen werden. Die Multiplikation dieser beiden Werte liefert den absoluten Wert der CO₂-Aufnahme in kg je Kubikmeter Beton. Diese grobe Abschätzung ergibt eine CO₂-Aufnahme (negatives Treibhauspotenzial) durch die Carbonatisierung von ca. –50 kg CO₂/m³ Beton. Dies entspricht ca. 25 % der mit der Herstellung (A1-A3) verbundenen Treibhausgasemission.

3.1.6.3 Recycling von Bewehrungsstahl

Für eine grobe Abschätzung wurde auf aktuelle Daten der EPD für Baustähle [IBU, EPD-BFS-20130094-IBG1-DE] zurückgegriffen. Diese weist im Modul D eine Gutschrift des Recyclings bzw. den Ersatz von Primärbaustahl von –0,959 kg CO₂/kg Baustahl aus. Dies entspricht ca. 55 % der mit der Herstellung (A1-A3) verbundenen Treibhausgasemissionen.

3.1.6.4 Thermische Verwertung von brennbaren Baustoffen

EPS und XPS-Dämmstoffe

Für das „end of life“-Szenario wird eine thermische Verwertung in einer modernen Abfallverbrennungsanlage angenommen. Im ÖWAV-Regelblatt 519 „Energetische Wirkungsgrade von Abfallverbrennungsanlagen“ (ÖWAV, 2013) wird für den Gesamtanlagenwirkungsgrad österreichischer Abfallverbrennungsanlagen eine Bandbreite von 22 bis 74 % ausgewiesen. Für die Beispielrechnung nehmen wir an, dass 70 % der im Dämmstoffabfall enthaltenen Energie (bez. auf den unteren Heizwert) für die Substitution des Primärenergieträgers Erd-

gas zur Verfügung steht. Somit ergibt sich im Modul D eine Gutschrift von ca. $-59 \text{ kg CO}_2/\text{m}$. Dies entspricht ca. 58 % der mit der Herstellung (A1-A3) verbundenen Treibhausgasemissionen.

Baustoff Holz

Gleich wie für die Dämmstoffe wird auch für das aufbereitete Abfallholz als „end of life“-Szenario eine thermische Verwertung in einer modernen Abfallverbrennungsanlage angenommen. Bei einem angenommenen Gesamtanlagenwirkungsgrad von 70 % ergibt sich im Modul D eine CO_2 -Gutschrift von ca. $-0,65 \text{ CO}_2/\text{m Holz}$.

Sonstige Gutschriften (nicht abgeschätzt)

Vor allem im Bereich der Haustechnik/Elektrik fallen beim Ersatz und Austausch bzw. im end of life Szenario eine Reihe von sehr gut recycelbaren Metallen an (Cu, Al, Fe), die aufgrund fehlender Detailkenntnis der Zusammensetzung nicht in die Abschätzung einbezogen wurden.

3.1.6.5 Zusammenfassende Darstellung

In Tabelle 6 erfolgt eine grobe Abschätzung von Gutschriften außerhalb des Lebenszyklus eines Gebäudes (Modul D) für das Niedrigenergiehaus aus Beton.

Tabelle 6: Abschätzung von Gutschriften außerhalb des Lebenszyklus (Modul D) für ein Niedrigenergiehaus aus Beton

Verwendete Hauptbaustoffe	NEH Beton	Gutschrift	Gutschrift NEH
Betonrecycling	164,4 m	$-23,08 \text{ kg CO}_2/\text{m}$	-3.786 kg CO_2
Carbonatisierung	164,4 m	$-50 \text{ kg CO}_2/\text{m}$	-8.141 kg CO_2
Baustahlrecycling	12.294 kg	$-0,959 \text{ kg CO}_2/\text{kg}$	-11.790 kg CO_2
Thermische Verwertung EPS/XPS	89 m	$-59 \text{ kg CO}_2/\text{m}$	-5.291 kg CO_2
Thermische Verwertung Holz	12,16 m	$-0,65 \text{ kg CO}_2/\text{m}$	-3.979 kg CO_2
Summe Gutschrift Modul D (ohne Cu, Al etc.)			-32.988 kg CO_2

(Quelle: e.D.)

Die CO_2 -Gutschrift würde somit ohne Berücksichtigung der Haustechnik ca. 37 % der THG-Emissionen der Herstellphase (A1-A3) betragen.

3.1.7 Quervergleich der LCA-Ergebnisse über die Gebäudevarianten

Die folgenden Abbildungen 29 bis 32 zeigen eine Gegenüberstellung der gesamten Ökobilanzergebnisse aller Gebäudevarianten. Die Plusenergievarianten mit dem Nummerncode X.4.X sind in **hellblauer** Farbe am Balkengrund gekennzeichnet, die Passivhausvarianten mit den Nummern X.3.X in **dunkelblauer** Farbe. Die Sonnenhäuser (X.2.X) sind **orange** gekennzeichnet und die Niedrigenergiehäuser (X.1.X) mit einem **grünen** Balkengrund. Die Buchstaben am Anfang der Variante bezeichnen zusätzlich die Bauweise (Z = Ziegel, B = Beton, S = Holzspanbeton, HR = Holzrahmen, HM = Massivholz). Die Varianten sind in Tabelle 2 übersichtlich gelistet. Die einzelnen Ergebnisse je Bauvariante wurden bereits in den Kapiteln 3.1.2 bis 3.1.5 besprochen. Der Einfluss der Haustechnik und der gewählten Energieträger ist in Kapitel 3.1.1 nachzulesen.

Wichtige Anmerkung: Die Holzgebäudevarianten sind als **braune** Balken dargestellt, da diese mit einem anderen Bilanzierungssystem gerechnet wurden, als die Massivbauweisen (**blaue** Balken). Im Gegensatz zum Kapitel 3.1.5 LCA Holzgebäude sind hier die korrigierten Haustechnikdaten eingeflossen (siehe Kapitel 2.5.3). Die Ergebnisse dürfen trotz der Darstellung in einem gemeinsamen Diagramm nicht miteinander verglichen werden.

Alle Abbildungen (29 bis 32) zeigen ein sehr homogenes Bild innerhalb der Variantengruppen der Gebäude, die sich in erster Linie auf den Energiestandard und in zweiter Linie auf die Bauweise beziehen. Dies gilt sowohl für die Massivbauvarianten als auch für die Holzbauvarianten. Keine Gebäudevariante und kein Energiestandard zeigt bei allen Indikatoren ein sehr gutes oder sehr schlechtes Ergebnis.

Ein etwas höheres Versäuerungspotenzial haben die Gebäude mit Biomasseheizungen gegenüber jenen mit Wärmepumpen. Beim Eutrophierungspotenzial liegen die Passivhäuser im gleichen Bereich, der Einsatz von Biomasse wirkt sich hier stärker aus (Abbildung 29). Das Treibhauspotenzial von Niedrigenergiehäusern und Passivhäusern liegt etwa im gleichen Bereich (Abbildung 30 links). Beispielsweise hat die Tatsache, dass eine Wärmepumpe im Gebäude eingesetzt wird, einen großen Einfluss auf das Potenzial zum Abbau der stratosphärischen Ozonschicht (ODP) (Abbildung 30 rechts), wohingegen sie auf die anderen Indikatoren keinen so eindeutigen Einfluss zu haben scheint. Die Gründe dafür wurden bereits im Haustechnikteil 3.1.1 besprochen.

Die Sonnenhäuser liegen beim Treibhauspotenzial (GWP in Abbildung 30 links) unter den normalen Niedrigenergiehäusern, was auf die aus der Sonne gewonnene Heizwärme zurückzuführen ist. Sie schlagen bei diesem Indikator auch die Passivhäuser, die im Wertebereich der Niedrigenergiehäuser liegen. Allerdings muss nochmals betont werden, dass die Wärmegewinne der relativ großen Solaranlage eines Sonnenhauses hier nicht korrekt abgebildet werden. Bei einer korrekten Darstellung der solaren Deckung von 60 % der Wärmebedarfe für Heizung und Warmwasser im Jahresdurchschnitt, wie im Projekt ausgelegt, dürfte sich der Bedarf an anderen Energieträgern zur Restwärmedeckung (Holz) maximal mit 40 % zu Buche schlagen. Mit eingerechnetem Hilfsenergiebedarf sollte ein korrektes Ergebnis bei etwas mehr als der Hälfte gegenüber dem NEH2 liegen. Das wirkt sich selbstverständlich auch auf die Ergebnisse der Indikatoren Versäuerungspotenzial (AP) und Eutrophierungspotenzial (EP) aus (Abbildung 29). Ebenso sind die relativ höheren Werte beim Potenzial zur Bildung troposphärischen Ozons nur aus diesen Fehlern erklärbar. Eine korrekte Berechnung der Sonnenhäuser mit dem gesamten nutzbaren Solarertrag müsste gesondert und ergänzend zum vorliegenden Bericht erstellt werden. Die Solarwärme ist außerdem in der Grafik CED ren (erneuerbare Energien) nicht eingerechnet, daher liegen die Werte hier unter den Niedrigenergiehäusern mit Pelletsheizung.

Gewissermaßen einen Sonderfall stellt das Plusenergiehaus dar. Der Umstand, dass v.a. die Photovoltaik-Anlage die Belastungen aus der Herstellung, Erneuerung und Entsorgung des PEH signifikant erhöht, geht in der Gesamtdarstellung verloren. Ganz im Gegenteil, schneidet doch das Plusenergiegebäude bei praktisch allen Indikatoren deutlich am besten ab.

Dies ist aber ausschließlich der vermiedenen Umweltbelastung durch den PV-Stromertrag geschuldet, die bei vielen Indikatoren fast gleich hoch ist, wie die gesamten Belastungen aus der Herstellung und Erneuerung, Beheizung und Entsorgung des Plusenergiegebäudes.

Durch diese Netto-Betrachtung steigt das Plusenergiehaus als deutlicher Sieger aller Klassen aus dem Gebäudevergleich aus. Bis zu welchem Ausmaß man vermiedene Umweltbelastung tatsächlich anrechnen darf, ist letztlich eine Konventionsfrage. Im Mittelpunkt steht hier die Fragen, wie man die aus dem Netz bezogene Energie bewertet, wie die notwendige Ausgleichsenergie und letztlich die grauen Rucksäcke der notwendigen Standby-Kraftwerke etc. mit einbezogen werden. Diese Fragen bedürfen mit Sicherheit noch einer eingehenden wissenschaftlichen Diskussion.

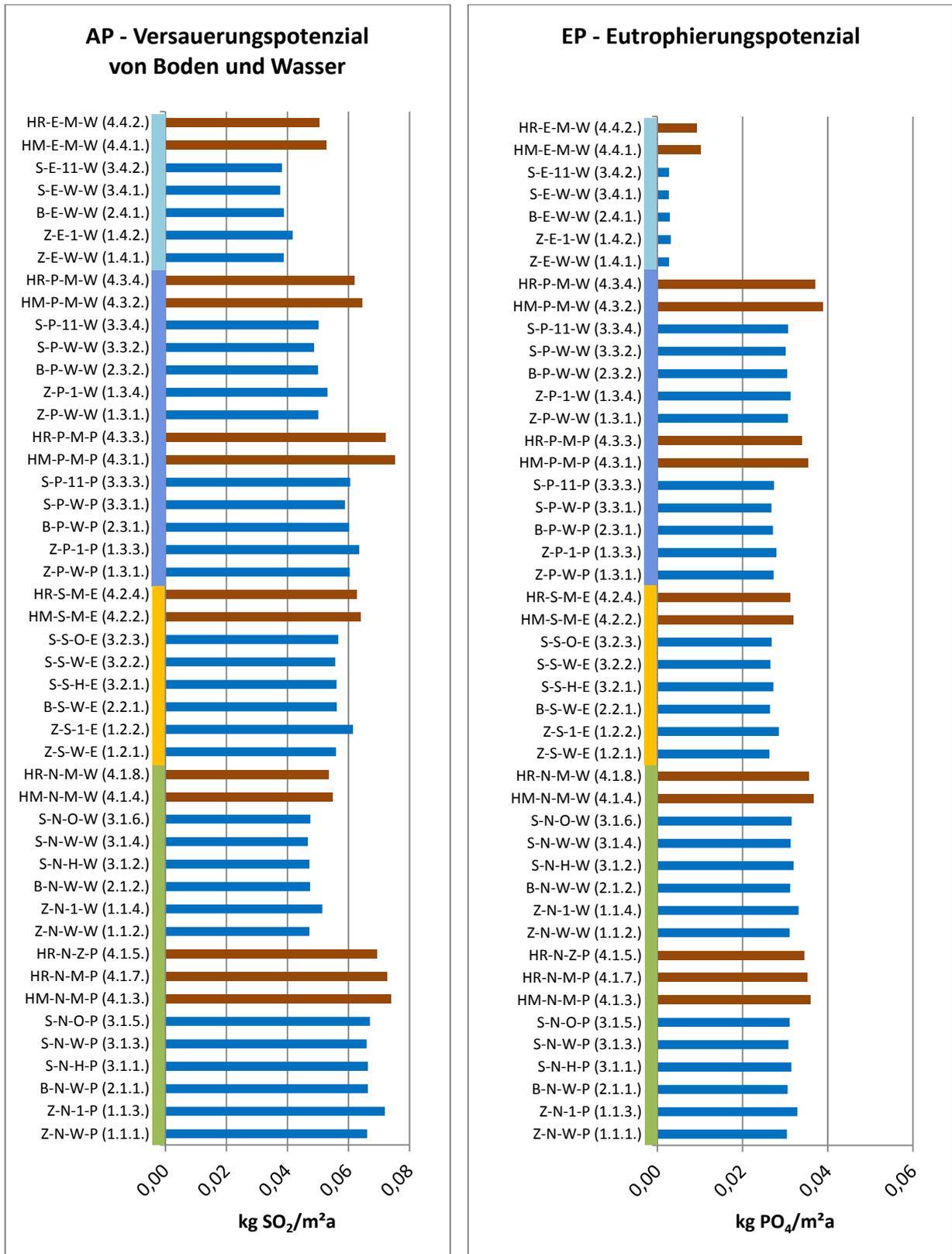


Abbildung 29: Vergleich des Versauerungspotenzials und des Eutrophierungspotenzials aller Gesamtgebäudevarianten

Kodierung der Gebäudevarianten siehe Seite 14

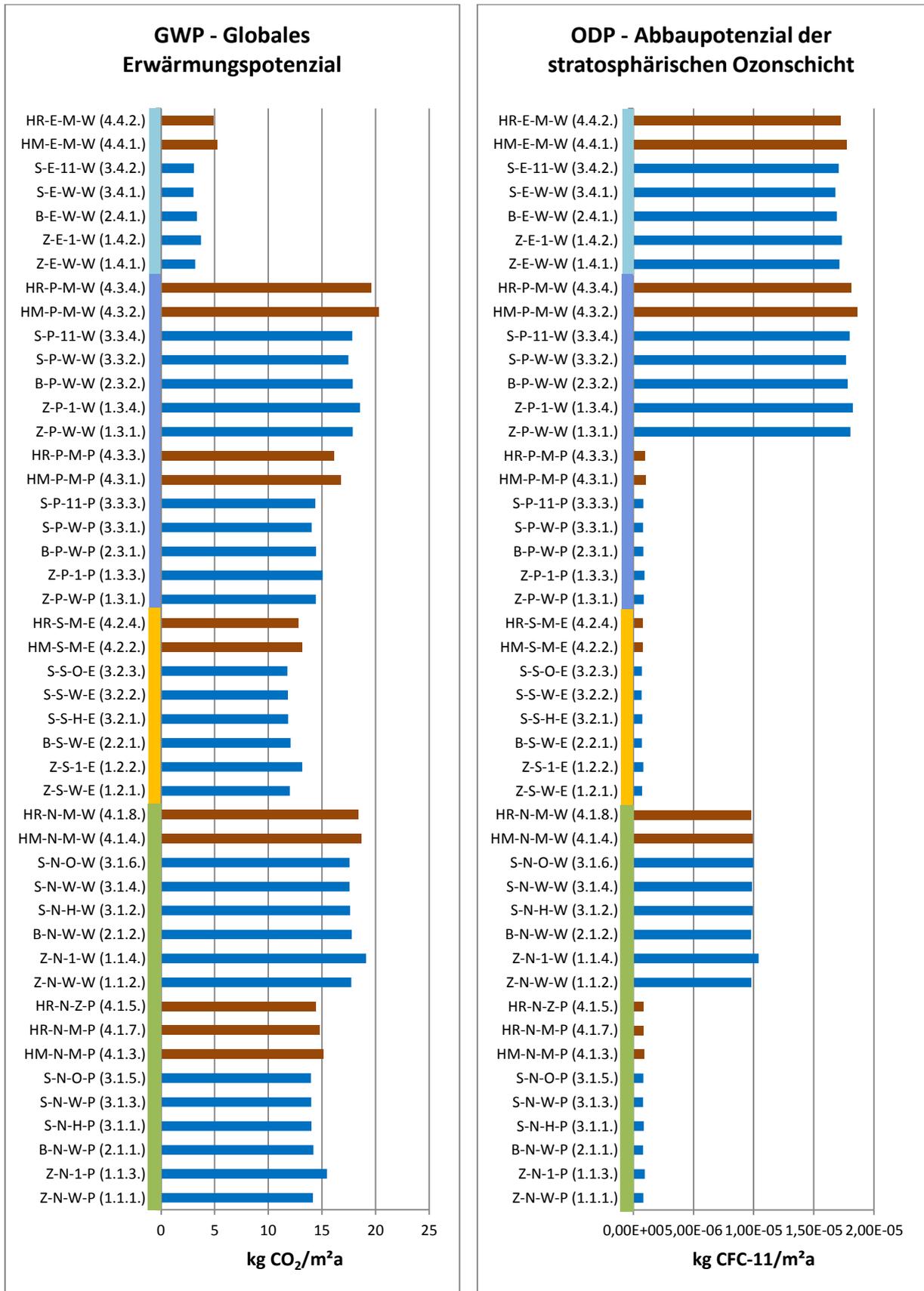


Abbildung 30: Vergleich des Treibhauspotenzials und der Potenzials zum Abbau der stratosphärischen Ozonschicht aller Gesamtgebäudevarianten

Kodierung der Gebäudevarianten siehe Seite 14

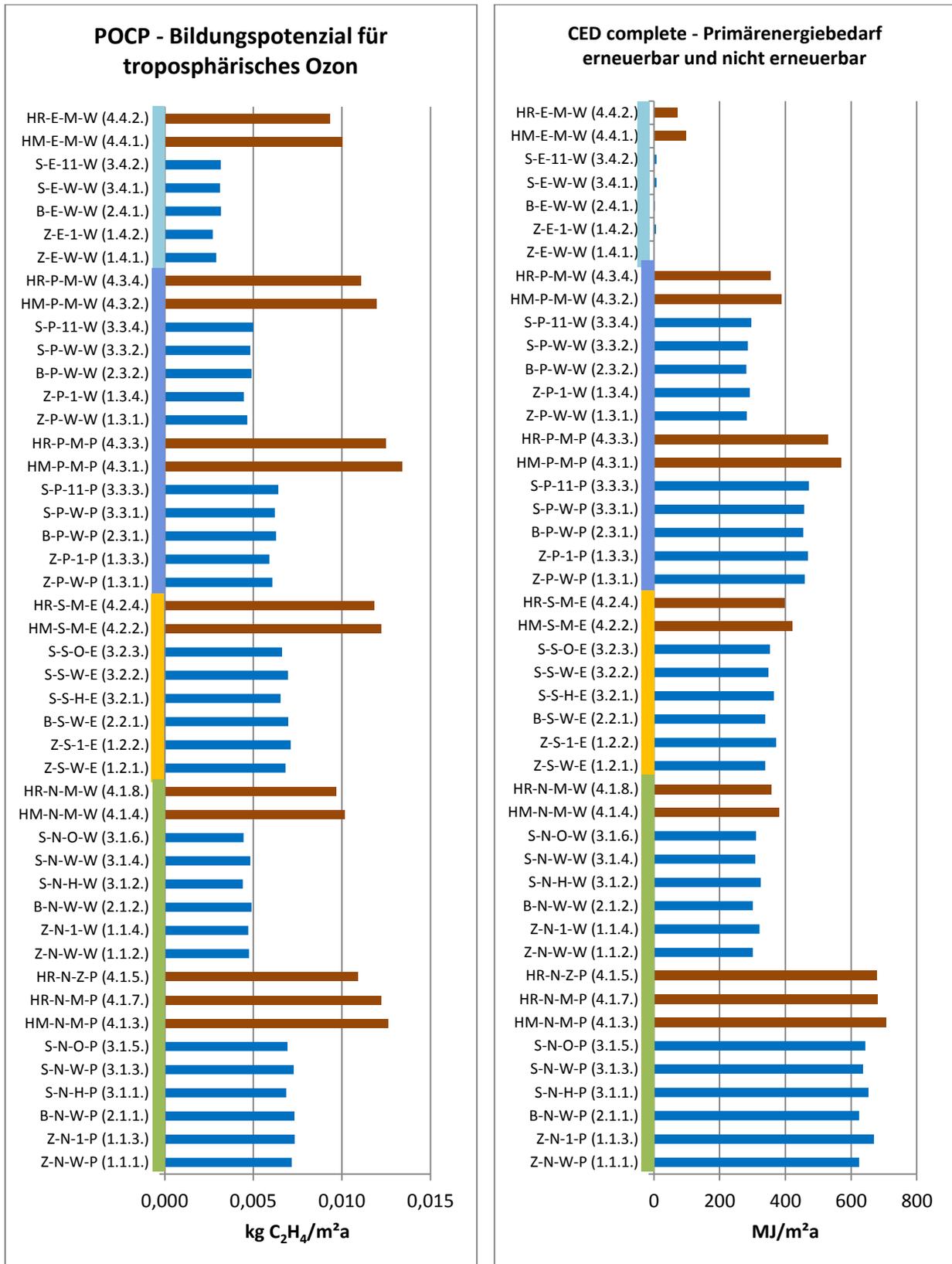


Abbildung 31: Vergleich des Ozonbildungspotenzials und des Gesamtprimärenergiebedarfes aller Gesamtgebäudevarianten

Kodierung der Gebäudevarianten siehe Seite 14

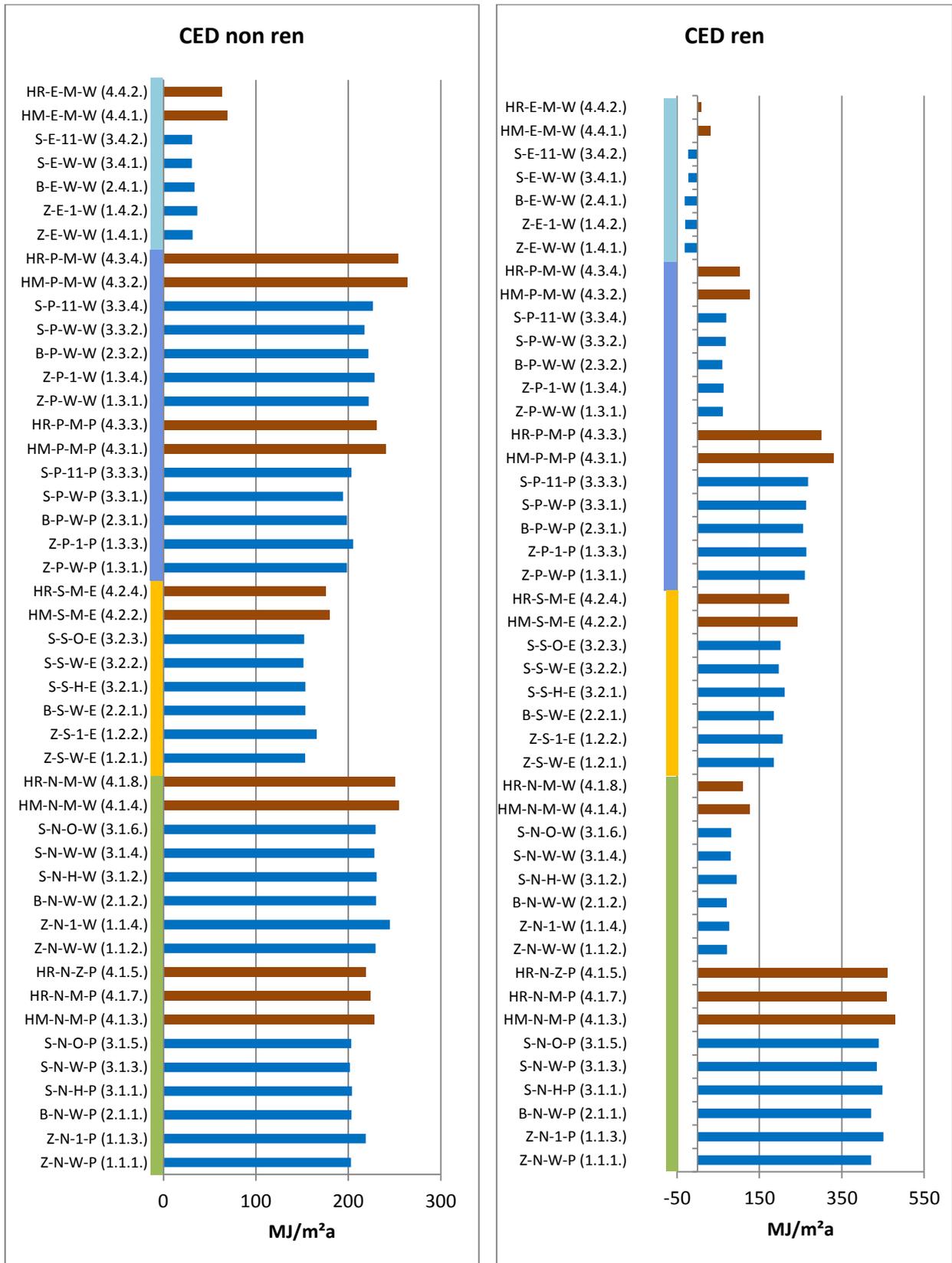


Abbildung 32: Vergleich des Primärenergiebedarfes erneuerbar und nicht erneuerbar aller Gesamtgebäudevarianten

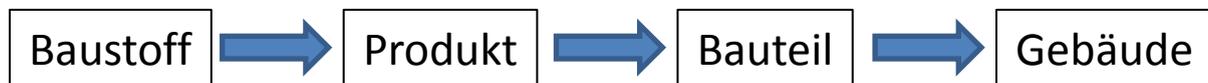
Kodierung der Gebäudevarianten siehe Seite 14

3.2 Vergleich von Bilanzierungssystemen

Ökobilanzen von Baustoffen, die mit unterschiedlichen Bilanzierungsprogrammen berechnet worden sind, können wegen abweichender Bilanzgrenzen und generell unterschiedlicher Methodiken nicht miteinander verglichen werden. In Abschnitt 3.2.1 wird die Ökobilanzierung unterschiedlicher Bilanzgegenstände erläutert und die Unterschiede verschiedener Analyse-systeme besprochen. In Abschnitt 3.2.2 werden direkte Vergleiche von Ecoisoft und Ecoinvent – den beiden in diesem Projekt eingesetzten Datenbanken – angestellt und anhand von konkreten Bauteilberechnungen erläutert. Ergänzende Informationen sind in Anhang 1 zu finden.

3.2.1 Gliederung der Ökobilanzierung nach Bilanzgegenstand

Prinzipiell ist zwischen den folgenden Bilanzierungsebenen zu unterscheiden:



Dabei baut eine Ebene auf der anderen auf. Eine Gebäudebilanzierung ist nicht möglich, wenn die kleineren Einheiten, aus denen ein Gebäude besteht, nicht bereits vorher bilanziert wurden. Jede dieser Ebenen stellt unterschiedliche Anforderungen an das zur Verfügung stehende Datenmaterial und die zu treffenden Annahmen. Dementsprechend ist unterschiedliche Software dafür einzusetzen.

3.2.1.1 Bilanzierung von Baustoffen

Die Grundlage für die Bilanzierung von Baustoffen stellen einerseits die Input- und Outputdaten des Herstellers, andererseits die sogenannten Basisdaten dar. Dies liegt darin begründet, dass der Hersteller beispielsweise seinen Materialeinsatz kennt, nicht aber die Vorkette der eingesetzten Stoffe oder die Vorketten der eingesetzten Energieträger. Dafür stehen Datenbanken zur Verfügung, die Basisdaten liefern, da eine eigene Recherche hierzu viel zu aufwändig wäre.

Im Folgenden werden einige Datenbanken, die in Europa Verwendung finden, kurz charakterisiert:

Ecoinvent

Im Ecoinvent Zentrum, dem Schweizer Zentrum für Ökoinventare, wurden verschiedene Datenbanken zusammengeführt. Erstveröffentlicht 2003, seit 6.5.2013 ist die Version ecoinvent 3 verfügbar. Vorteilhaft ist die Transparenz des Systems, die sich in der guten Dokumentation und der Auskunftsmöglichkeit direkt durch den Ersteller des Datensatzes äußert. Die Datenbank ist, abgesehen vom Erwerb, auch jährlich kostenpflichtig.

Gemis (Globales Emissionsmodell integrierter Systeme)

Seit der Entwicklung in den 1980er Jahren durch das Ökoinstitut Freiburg im Breisgau und die Gesamthochschule Kassel, erfährt das System eine stetige Weiterentwicklung. Der Um-

fang der in GEMIS befindlichen Datensätze ist wesentlich geringer als in Ecoinvent. Der Schwerpunkt liegt auf Energie und klimarelevanten Gasen. Die Datenbank ist einmalig gering kostenpflichtig.

GaBi 4 (Ganzheitliche Bilanzierung)

GaBi ist ein Softwaresystem zur Erstellung von Ökobilanzen, welches die Datenbank Ecoinvent nützt, aber auch eigene Daten zur Verfügung stellt. Sie ist industrienah und hat eine geringe Transparenz aufgrund von Geheimhaltungsverpflichtungen gegenüber den Datenlieferanten. Das Programm ist beim Kauf und jährlich kostenpflichtig, wobei die Höhe von den benötigten Modulen abhängt.

Ökobau

Ökobau ist eine deutsche Datenbank, die Baustoff- und Gebäudedaten im Excel-Format zur Verfügung stellt. Sie stellt keine Basisdaten zur Verfügung, ist aber kostenfrei erhältlich.

IBO Referenzdatenbank für Bauprodukte

Die IBO Referenzdatenbank ist eine Baustoffdatenbank, die mit ökologischen Daten von Produkten von v.a. österreichischen Herstellern, aber mit dem europäischen Strommix ENT-SO-E (früher UCTE) bilanziert. Die Daten basieren auf Berechnungen des IBO unter Zuhilfenahme von Basisdaten aus Ecoinvent V2.2. Die Daten sind kostenfrei zugänglich (www.ibo.at).

KBOB

Angegeben werden die Daten von Primärenergie und Treibhausgasen zu Baustoffproduktion, Haustechnik, Energie und Transport in vergleichsweise bescheidenem Umfang. In dem spezifisch schweizerischen System werden aus den Daten Umweltbelastungspunkte (UBPs) zur Definition der Umweltwirkung eines Produkts bzw. eines Prozesses generiert. Die Datenbank wird vom schweizerischen Bundesamt für Bauten und Logistik kostenfrei zur Verfügung gestellt.

Synergy – Carbon Footprint Tool

Eine finnische Datenbank, die in erster Linie Daten zu Treibhausgasen zur Verfügung stellt, also keine komplette Ökobilanz ermöglicht (www.ymparisto.fi).

Ein Vergleich von Datenbanken selbst ist nicht sonderlich sinnvoll, da es eine enorme, systemimmanente Schwankungsbreite der Ergebnisse gibt. Dies hat neben Länderspezifika, wie etwa dem Energiemix, vielfältige Gründe, wie beispielsweise unterschiedliche Systemgrenzen, Allokationsmethoden, Datenerhebungszeitraum oder die unterschiedliche Präzision bei der Datenerhebung.

3.2.1.2 Bilanzierung von Bauteilen

Aus den Bilanzergebnissen von Bauprodukten können Bauteile modelliert werden. Dabei werden die Umweltwirkungen der einzelnen Baustoffe bzw. Bauprodukte massen- bzw. mengengewichtet zusammen gezählt. Für diese zwar umfangreichen, aber mathematisch nicht sehr anspruchsvollen Berechnungen können selbst verfasste Excel-Dateien, aber auch

fertig konfektionierte Programme wie etwa LEGEP oder auch Excel-basierte Programme wie Ecosoft herangezogen werden.

3.2.1.3 Bilanzierung von Gebäuden

Aus den Bilanzergebnissen von Bauteilen können nun komplette Gebäude modelliert werden. Besondere Beachtung hierbei ist neben dem Detaillierungsgrad der technischen Gebäudeausrüstung (Heizung, Kühlung, Lüftung), dem Energiebedarf bei der Nutzung und der Lebensdauer der einzelnen Materialien in Abhängigkeit von ihrer konkreten Anwendung im Gebäude zu schenken. Generell sind die Lebensphasen gemäß Tabelle 5 laut ÖNORM EN 15978 zu berücksichtigen.

Abbildung 33: Lebensphasen von Gebäuden gemäß ÖNORM EN 15978

Informationen zur Gebäudebeurteilung				
Angaben zum Lebenszyklus des Gebäudes				Ergänzende Informationen außerhalb des Lebenszyklus
A1 – A3	A4 – A5	B1 – B7	C1 – C4	D
Herstellungsphase	Errichtungsphase	Nutzungsphase	Entsorgungsphase	Vorteile und Belastungen außerhalb der Systemgrenzen
A1 Rohstoffbereitstellung A2 Transport A3 Herstellung	A4 Transport A5 Bau/Einbau	B1 Nutzung B2 Instandhaltung B3 Reparatur B4 Ersatz B5 Umbau / Erneuerung	C1 Abbruch C2 Transport C3 Abfallbewirtschaftung C4 Deponierung	Potenzial für Wiederverwendung-, Rückgewinnungs- und Recyclingpotenzial
		B6 Betrieblicher Energieeinsatz B7 Betrieblicher Wassereinsatz		

(Quelle: ÖNORM EN 15978)

Auch hier werden die Umweltwirkungen der einzelnen Bauteile massen- bzw. mengengewichtet unter Berücksichtigung von Lebensdauern und der unterschiedlichen Lebensphasen gemäß ÖNORM EN 15978 zusammen gezählt.

3.2.2 Vergleich Ecosoft / Ecoinvent

Im gegenständlichen Projekt kommen für die Gebäudebilanzierung zwei Datenbanken – IBO Referenzdatenbank für Bauprodukte, implementiert in der Software Ecosoft v5.0 sowie Ecoinvent v2.2 – zum Einsatz. Dies ist darin begründet, dass die bilanzierenden Institute unterschiedliche Software einsetzen, welche auf unterschiedliche Datenbanken zurückgreift. Ein Abgleich über sämtliche eingesetzten Bauteile ist daher nicht möglich.

3.2.2.1 Stärken-Schwächen-Analyse

Jede der beiden Datenbanken hat ihre Berechtigung und individuellen Stärken und Schwächen. So ist Ecosoft eine auf den Bausektor zugeschnittene Datenbank mit einer großen Auswahl an unterschiedlichen Baustoffen und Bauprodukten während die Schweizer Ecoin-

vent eine riesige Auswahl an Daten für alle Lebensbereiche (z.B. Landwirtschaft, Chemie, Ernährung, Elektronik, Fischerei und Lebensmittel etc.) bietet. Nachteilig wirkt sich bei Ecosoft die mangelnde Flexibilität der Basisdaten (z.B. Fixierung auf den europäischen Strommix UCTE) aus.

Beispielhaft sei hier der Baustoff Ziegel für Wände erwähnt. Während in Ecoinvent v2.2 nur ein Ziegel zur Auswahl steht, stellt Ecosoft v5.0 bis zu 11 verschiedene Varianten zur Verfügung, was eine detailliertere und auf den genauen Ziegeltyp abgestimmte Berechnung ermöglicht. Die beiden Abbildungen 34 und 35 zeigen Screenshots der zur Verfügung stehenden Daten.

Name	Einheit	Abfalltyp	Projekt
Brick, at plant/RER S	kg	Brick	Ecoinvent system process
Brick, at plant/RER U	kg	Brick	Ecoinvent unit processes
Light clay brick, at plant/DE S	kg	Brick	Ecoinvent system process
Light clay brick, at plant/DE U	kg	Brick	Ecoinvent unit processes
Refractory, basic, packed, at plant/DE S	kg	Brick	Ecoinvent system process
Refractory, basic, packed, at plant/DE U	kg	Brick	Ecoinvent unit processes
Refractory, fireday, packed, at plant/DE S	kg	Brick	Ecoinvent system process
Refractory, fireday, packed, at plant/DE U	kg	Brick	Ecoinvent unit processes
Refractory, high aluminium oxide, packed, at plant/DE S	kg	Brick	Ecoinvent system process
Refractory, high aluminium oxide, packed, at plant/DE U	kg	Brick	Ecoinvent unit processes
Sand-lime brick, at plant/DE S	kg	Brick	Ecoinvent system process
Sand-lime brick, at plant/DE U	kg	Brick	Ecoinvent unit processes

(Quelle: SimaPro)

Abbildung 34: Auszug aus Software SimaPro mit Datengrundlage Ecoinvent V2.2

Schicht Nr	Id	Baustoff	Katalog	Dicke	Anteil	Nutzungsdauer	Dichte	Maßzahl	Funktionale Einheit
				m	%				
1	467	Hochlochziegel	baustoffe5_0.mdb		100,00%	100	800		kg
2	468	Hochlochziegel 1.200kg/m ³	baustoffe5_0.mdb		100,00%	100	1200		kg
3	469	Hochlochziegel hochporosiert	baustoffe5_0.mdb		100,00%	100	600		kg
4	16	Lehmziegel 1500 kg/m ³	baustoffe5_0.mdb		100,00%	100	1500		kg
5	473	Lehmziegel 2000 kg/m ³	baustoffe5_0.mdb		100,00%	100	2000		kg
6	567	Mauerziegel NF gelocht	baustoffe5_0.mdb		100,00%	100	800		kg
7	569	Schallschutzfüllziegel	baustoffe5_0.mdb		100,00%	100	630		kg
8	486	Vollziegel	baustoffe5_0.mdb		100,00%	100	1700		kg
9	30	Ziegel	baustoffe5_0.mdb		100,00%	100	800		kg
10	487	Ziegel - Schallschutzziegel <= 1.700kg/m ³	baustoffe5_0.mdb		100,00%	100	1700		kg
11	488	Zwischenwandziegel	baustoffe5_0.mdb		100,00%	100	650		kg

(Quelle: Ecosoft)

Abbildung 35: Auszug aus Software Ecosoft mit Datengrundlage IBO Referenzdatenbank

Bezüglich Datentransparenz kann beiden Datenbanken ein gutes Zeugnis ausgestellt werden:

- Ecoinvent stellt (zumindest im Rahmen des Softwarepaketes Simapro) eine Kurzbeschreibung des ausgewählten Prozesses zur Verfügung. Außerdem besteht für detailliertere Anfragen immer die Möglichkeit, an den Ersteller des interessierenden Datensatzes weiter verbunden zu werden. Grundlegende methodische Dokumentationen, wie beispielsweise Frischknecht (2007), sind erhältlich.
- Das österreichische Institut für Baubiologie und Ökologie stellt die Bilanzierungssoftware Ecosoft gegen einen geringen Unkostenbeitrag, sowie die dazugehörige Datenbank kostenfrei zur Verfügung. Daten sind jederzeit einsehbar und am IBO direkt hinterfragbar. Für die wichtigsten methodischen Fragen steht eine Dokumentation (IBO 2011) auf der Homepage zum Download zur Verfügung.

3.2.2.2 Vergleichsberechnungen von Bauteilen

Anhand der Ökobilanz mit den Bilanzgrenzen cradle to gate (Wiege bis Werkstor) von drei verschiedenen Bauteilen mit drei verschiedenen Basismaterialien sollen die Größenordnungen der Differenzen der beiden verwendeten Datenbanken dargestellt werden.

Jeweils eine Stahlbetondecke, eine Ziegelaußenwand und eine Holzrahmenaußenwand wurden mittels Ecosoft v5.0 und Ecoinvent v2.2 bilanziert. Für die Berechnungen mit der Datenbank Ecoinvent wurde die Software Simapro v7.3.2 herangezogen. Sämtliche gewählten Bauteile stehen in keinem Bezug zueinander (weisen beispielsweise keine identen U-Werte auf), sind daher nicht vergleichbar. Sie stellen jedoch durchaus übliche Konstruktionen dar. Weiters wird in den Diagrammen der ausgewiesenen Indikatoren auch immer der Mittelwert aus beiden Ergebnissen dargestellt. Die Berechnungsmethodik der Umweltwirkungen basiert auf CML (2001). Die bilanzierten Aufbauten und die Ergebnisse für weitere Indikatoren sind in Anhang 1 nachzulesen. Der blaue Balken in Abbildung 36 bis 38 zeigt das Ergebnis mit Ecoinvent, der rote Balken den Ecosoft-Wert. Der grüne Balken ist der Mittelwert beider.

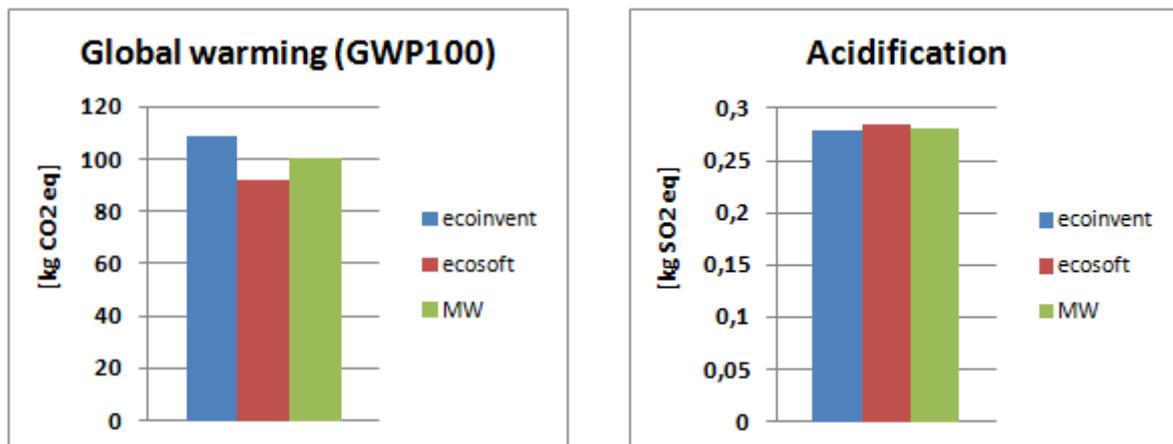


Abbildung 36: Vergleich des Treibhauspotenzials und Versäuerungspotenzials berechnet mit Ecoinvent und Ecosoft einer Ziegelaußenwand pro m Wandfläche (ENTSO-E Strommix)

Abbildung 36 zeigt für das Treibhauspotenzial (GWP100) der Ziegelaußenwand einen rund um 15 % niedrigeren Wert bei Ecosoft als bei Ecoinvent. Beim Versäuerungspotenzial (Acidification) können die Werte als gleich hoch angesehen werden.

Bei der Holzrahmenaußenwand in Abbildung 37 liegen die Werte des GWP ebenfalls rund 16 % auseinander, allerdings weist Ecosoft hier den höheren Wert aus. Beim Versäuerungspotenzial ergibt sich für die Holzrahmenwand ein um knapp 50 % höherer Wert durch Ecosoft gegenüber dem Ecoinvent Ergebnis.

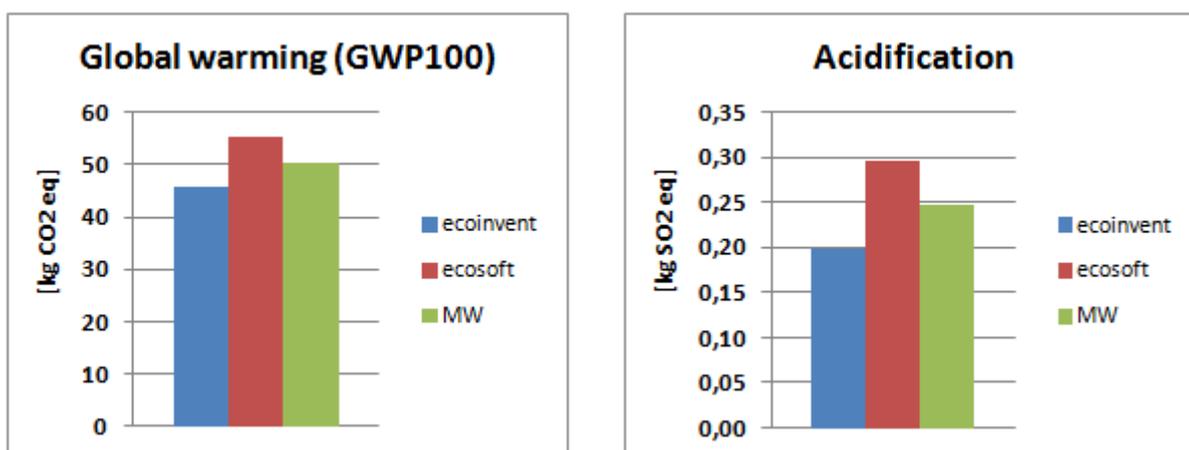


Abbildung 37: Vergleich des Treibhauspotenzials und Versäuerungspotenzials berechnet mit Ecoinvent und Ecosoft einer Holzrahmenaußenwand pro m Wandfläche (UCTE Strommix)

Bei der Stahlbetondecke hingegen zeigt sich ein nahezu identes Ergebnis bei der Bewertung beider Indikatoren, die Differenzen sind vernachlässigbar gering (Abbildung 38).

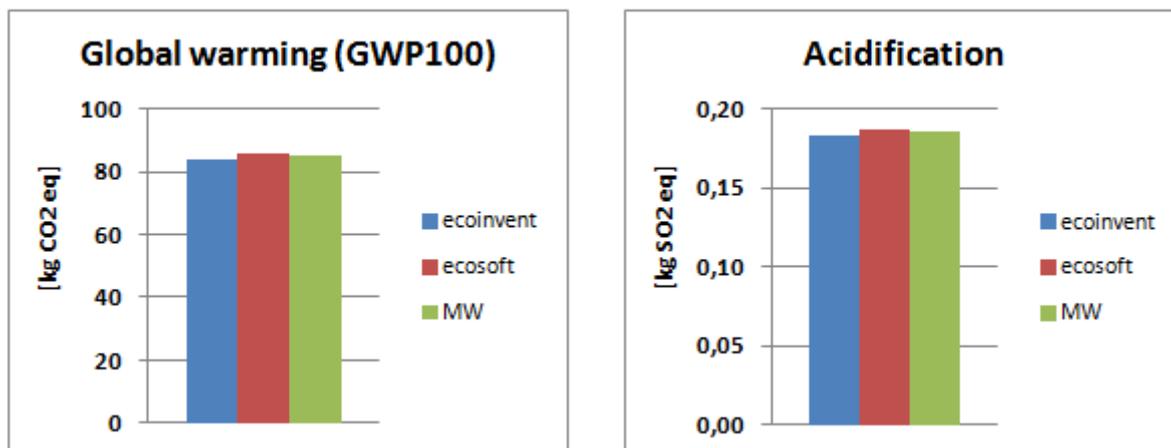


Abbildung 38: Vergleich des Treibhauspotenzials und Versäuerungspotenzials berechnet mit Ecoinvent und Ecosoft einer Stahlbetondecke pro m Deckenfläche (UCTE Strommix)

Während die TU Graz für ihre Berechnungen den österreichischen Strommix zu Grunde legte, wurde von der HFA für die Holzgebäude prinzipiell mit dem ungünstigeren UCTE-Mix gerechnet, da Ecosoft nicht die Flexibilität bietet den Strommix zu ändern. Der Programmhersteller IBO begründet diese Entscheidung folgendermaßen: „Strom kann über nationale Grenzen hinweg an der Börse eingekauft werden und die Herkunft des Stromes ist nicht leicht zu eruieren. Mit dem Einsatz des europäischen Strommix (Verband Europäischer Übertragungsnetzbetreiber (ENTSO-E), früher (UCTE)) werden im europäischen Kontext alle Energieeinsätze gleich bewertet. Damit wird der Fokus mehr auf die eingesetzte Energiemenge als auf eine Beurteilung verschiedener Stromzusammensetzungen gelegt.“

Ein Vergleich der Berechnungen mit Ecosoft und Ecoinvent der Ziegelaußenwand unter Berücksichtigung des unterschiedlichen Strommix ist in Abbildung 39 dargestellt. Eine weitere Untersuchung für eine Holzrahmenwand befindet sich in Anhang 1. Für die exemplarischen Untersuchungen wurde in den Datensätzen von Ecoinvent der Strommix des wichtigsten Baustoffes (Ziegel, Schnittholz) geändert. Anstatt des ursprünglich eingesetzten europäischen Strommix wurde der österreichische Strommix eingesetzt. Der Strommix für alle weiteren Materialien (z.B. Putz, Dämmung, Folien) wurde nicht verändert. Es ergeben sich teilweise beachtliche Unterschiede, die aus den unterschiedlichen Anteilen der Energieträger resultieren. So reduzieren sich die untersuchten Indikatoren bei der Ziegelaußenwand um etwa 30 % gegenüber der Berechnung mit UCTE Strommix. Das Eutrophierungspotenzial sinkt um 36 %. Bei der Holzrahmenaußenwand sind die Unterschiede wesentlich geringer, da der Stromeinsatz bei der Herstellung von Schnittholz relativ unbedeutend ist.

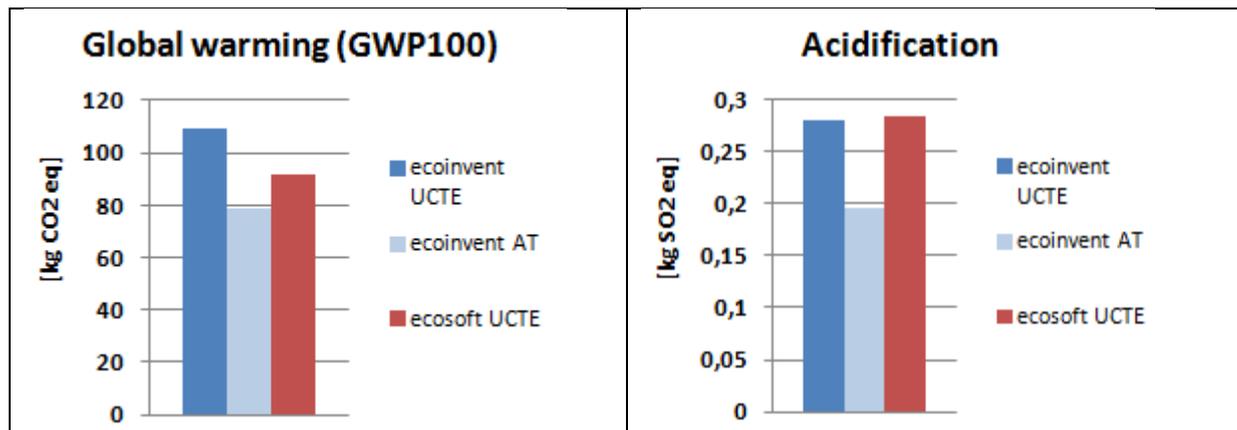


Abbildung 39: Vergleich des Treibhauspotenzials und Versäuerungspotenzials – Ecoinvent (mit ENTSO-E- und österreichischem Strommix – ecoinvent AT) und Ecosoft (mit ENTSO-E-Mix) Berechnungen einer Ziegelaußenwand pro m² Wandfläche

3.2.2.3 Conclusio aus den Vergleichsberechnungen

Abhängig von Indikator und grundlegender Annahmen können entweder Ecosoft oder Ecoinvent höhere bzw. niedrigere Ergebnisse einer cradle to gate Ökobilanz zeigen. Ein eindeutiger Trend ist an keinem der Indikatoren ablesbar. Wesentliche Unterschiede zeigen sich bei Verwendung eines unterschiedlichen Strommix. Wird der österreichische Strommix in den Ecoinvent-Berechnungen zu Grunde gelegt, so führt dies zu wesentlich günstigeren Ergebnissen verglichen mit jenen aus den Ecosoft-Berechnungen mit dem vordefinierten UCTE-Mix. Bei einzelnen Indikatoren kommt es mit österreichischem Strommix zu einer deutlichen Reduktion gegenüber der Berechnung mit UCTE-Mix. Diese Größenordnungen treffen nicht gleichermaßen auf alle Konstruktionen zu.

Generell muss daher betont werden, dass Ergebnisse, die auf Basis unterschiedlicher Datenbanken, aber vor allem mit unterschiedlichem Strommix erstellt wurden, nicht vergleichbar sind. Es können auch keine pauschalen Umrechnungsfaktoren angeführt werden, da jeder Baustoff bzw. jedes einzelne Bauprodukt unterschiedlichen Stromeinsatz bei der Herstellung aufweist, und die daraus resultierenden Differenzen stark schwanken können.

3.3 Vergleichende Betrachtung von Zertifizierungssystemen

Die Anfänge der Gebäudezertifizierungssysteme liegen in der internationalen Initiative *Green Building Challenge*, die Mitte der 1990er Jahre als Antwort auf die immer stärker wahrnehmbaren Umweltwirkungen des Hochbaus gestartet wurde. Ziele dieser Initiative waren die Entwicklung eines umweltorientierten Gebäudebewertungssystems auf wissenschaftlicher Basis, das Testen der Bewertung an Gebäuden und das Bereitstellen einer Plattform für die Entwicklung nationaler Gebäudebewertungssysteme. In der Folge wurde auf Basis von vorhandenen Bewertungsansätzen das gemeinsame *Green Building Tool* entwickelt und für vergleichende Gebäudebenchmarks in 15 Ländern eingesetzt. Auf nationaler Ebene zeigte sich jedoch, dass zahlreiche rechtliche und qualitative Ansprüche nationaler Prägung nicht zufriedenstellend abgebildet werden konnten. Inzwischen geht der Trend auch auf internati-

onaler Ebene weg von einer rein energetischen Einstufung eines Gebäudes hin zu einer umfassenden Gebäudebewertung nach ökologischen, ökonomischen und sozialen Nachhaltigkeitskriterien.

Im Zuge der verstärkten Anpassung an nationale Rahmenbedingungen und Bedürfnisse sowie die unterschiedlichen nationalen Gegebenheiten entwickelten sich auf nationaler Ebene mehrere Gebäudezertifizierungssysteme. In Österreich zählen dazu das *Total Quality Building* (TQB), heute getragen von der Österreichischen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (ÖGNB), die Initiative *klima:aktiv Bauen und Sanieren* des Ministerium für ein lebenswertes Österreich unter dem Programm-Management der Österreichischen Gesellschaft für Umwelt und Technik (ÖGUT) sowie der *ÖKOPASS* des Österreichischen Instituts für Baubiologie und Bauökologie (IBO). Das *Deutsche Gütesiegel für Nachhaltiges Bauen* der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) wird in Österreich von der Österreichischen Gesellschaft für Nachhaltige Immobilienwirtschaft (ÖGNI) vertreten.

Die Anwendung von Gebäudezertifizierungssystemen erfolgt in Österreich auf freiwilliger Basis. Einige Systeme beinhalten Elemente des Energieausweises, der gemäß EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden gesetzlich vorgeschrieben ist. Somit deckt der Energieausweis bereits gewisse Grundanforderungen einer Gebäudebewertung ab. Durch die Berücksichtigung deutlich darüber hinausgehender Anforderungen haben Gebäudeeigentümer die Möglichkeit, ein Gebäudezertifikat zu erwerben. Mit diesem stufenweise aufgebauten System soll die Hemmschwelle für die nachhaltige Gebäudezertifizierung gesenkt und ihre Marktdurchdringung erleichtert werden. Die Zertifizierung kann je nach System in Eigenregie geschehen oder externe PrüferInnen erfordern, welche eine erhöhte Qualifikation im Bereich des Nachhaltigen Bauens nachweisen müssen.

Die Gebäudezertifizierungssysteme versuchen, umfassende Faktoren für Gebäude von der Herstellung über die Nutzung bis zum Ende des Lebensweges auf eine vergleichbare Ebene zu bringen. Gebäudezertifizierungssysteme bestehen üblicherweise aus folgenden Elementen:

1. Kriterien, die beschreiben, welche Qualitäten beurteilt werden.
2. Eine Bewertungsskala, die für jedes Kriterium beschreibt, welche Ausprägungen der Eigenschaften wie beurteilt werden. Die Skala reicht üblicherweise von einer Mindestanforderung bis hin zu einer sehr guten Beurteilung.
3. Ein Gewichtungssystem, das Kriterien und Ausprägungen in eine Form überführt, in der sie zusammengefasst werden können. Das zusammengefasste Bewertungsergebnis kann für die Marktkommunikation eingesetzt werden.

Im Zuge dieses Forschungsprojektes soll abgeschätzt werden, inwieweit die Wahl der Baustoffe und die Wahl des Gebäudekonzeptes das Gesamtergebnis der jeweiligen Gebäudezertifizierungssysteme beeinflussen können. Baustoffe werden in den Zertifizierungssystemen u.a. anhand ihrer Produktökobilanzen berücksichtigt. Über die Produktökobilanzen ist es möglich, bestimmte umweltrelevante Auswirkungen von Baustoffen oder Gebäuden über den gesamten Lebenszyklus von der Rohstoffgewinnung, Baustoffherstellung, Gebäudeer-

richtung über die Nutzung bis zum Abbruch und der Verwertung der Bausubstanz zu beurteilen. Die Wahl der Baustoffe kann aber eine Vielzahl weiterer Kriterien beeinflussen, dazu zählen u.a. der Brand- oder der Schallschutz, der thermische Komfort (über die bauteilintegrierte Heizung und Kühlung) oder die Innenraumluftqualität.

Im Folgenden werden ausgewählte national gebräuchliche Gebäudezertifizierungssysteme auf die Sensibilität ihrer Bewertungskriterien hinsichtlich der Baustoffwahl und die Wahl des Gebäudekonzeptes untersucht. Dazu werden in den einzelnen Systemen in einem ersten Schritt jene Kriterien identifiziert, die durch die Wahl der Baustoffe oder die Wahl des Gebäudekonzeptes beeinflusst werden können. In einem weiteren Schritt wird jene Punktezahl ermittelt, die mit den identifizierten Kriterien maximal erzielt werden kann. Als Ergebnis wird der Anteil dieser Punktezahl an der Gesamtpunktezahl des jeweiligen Zertifizierungssystems in Prozent ausgewiesen. Die Gewichtung der Kriterien und die mögliche Gesamtpunktezahl ergeben sich aus dem jeweiligen Zertifizierungssystem. Einige Systeme führen vereinzelt Kriterien an, die unabhängig von ihrem Erfüllungsgrad zu keiner Anhebung der Punktezahl führen (erzielbare Punktezahl mit diesen Kriterien = 0). Diese Kriterien wurden der Vollständigkeit halber in den Grafiken dieses Kapitels beibehalten, auch wenn sie für die Berechnungen nicht relevant waren.

3.3.1 Der klima:aktiv Gebäudestandard

Der klima:aktiv Gebäudestandard legt den Fokus auf die Aspekte des Energieverbrauchs und des Klimaschutzes. Er folgt dem Prinzip der Selbstdeklaration und ist in den klima:aktiv Kriterienkatalogen definiert. klima:aktiv Kriterienkataloge sind für Wohngebäude, Bürogebäude und sonstige Dienstleistungsgebäude verfügbar, wobei diese Kataloge auch getrennt für Neubau und Sanierung ausgearbeitet wurden. Im Folgenden wird abgeschätzt, inwieweit die Wahl der Baustoffe sowie getrennt davon die Wahl des Gebäudekonzeptes die Gesamtbewertung auf Basis des Kriterienkataloges für Wohngebäude Neubau (Version 5.0 vom 1.1.2012) und den Nachweisweg OIB²¹ beeinflussen können. Die Bewertung erfolgt in diesem Katalog anhand eines Systems mit 1.000 Punkten und einer unterschiedlich Gewichtung von vier Hauptkriteriengruppen. Das Hauptgewicht liegt in diesem Katalog auf dem Kriterium „Energie und Versorgung“ mit bis zu 600 erzielbaren Punkten, gefolgt von dem Kriterium „Baustoffe und Konstruktion“ mit bis zu 150 erzielbaren Punkten. Die beiden weiteren Kriterien lauten „Planung und Ausführung“ (maximal 130 Punkte) sowie „Raumlufqualität und Komfort“ (maximal 120 Punkte). Die jeweiligen Kriterien können für sich weiter in Bewertungsgruppen unterteilt werden. In der folgenden Grafik werden die verschiedenen Bewertungsgruppen dargestellt. Jene Kriterien, die durch die Wahl der Baustoffe beeinflusst werden, sind blau hervorgehoben. Analog sind jene Kriterien mit Einfluss durch das Gebäudekonzept grün markiert. In diesem Katalog wurden keine Kriterien festgestellt, die sowohl durch die Baustoffwahl als auch durch die Wahl des Gebäudekonzeptes beeinflussbar erscheinen. (Kriterien siehe Abbildung 40).

²¹ http://www.klimaaktiv.at/dms/klimaaktiv/bauen_sanieren/gebaeuedeklaration/kriterienkatalog/kriterienkatalog_wohnbau-neubau-2012_version5-0/kriterienkatalog_wohnbau-neubau-2012_v5-0_neuelinks.pdf [Stand 2013.11.22]

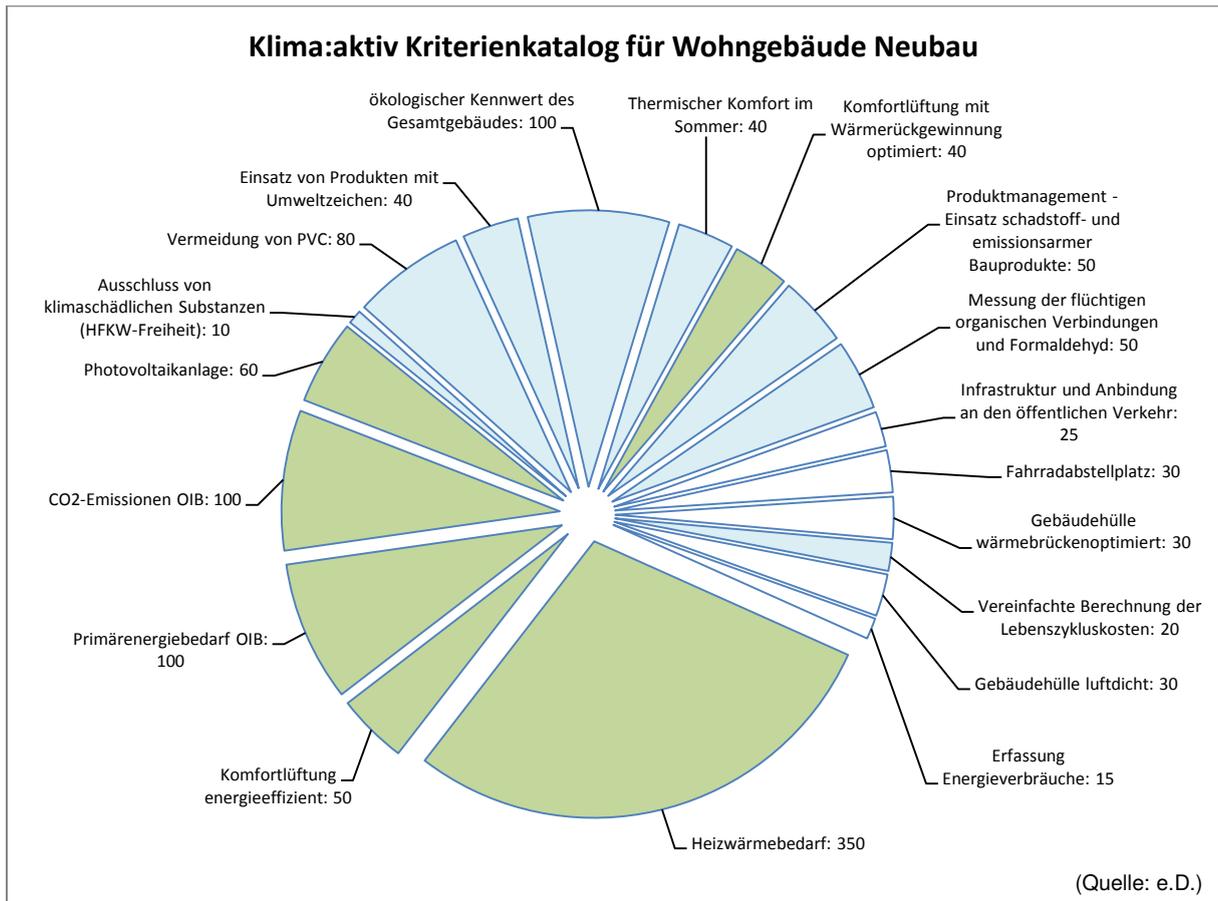


Abbildung 40: klima:aktiv Kriterien und ihre Gewichtung für den Katalog Wohngebäude Neubau

Im klima:aktiv Gebäudezertifizierungssystem können durch die Erfüllung einzelner Kriterien insgesamt bis zu 1.000 Punkte erzielt werden. Bei der Addition der Punkte aus den einzelnen Bewertungsgruppen ist zu beachten, dass die maximal zulässige Punktezahl der jeweiligen übergeordneten Hauptkriteriengruppe nicht überschritten wird. Beispielsweise würden sich die Punkte aus den vier Bewertungskriterien der Hauptkriteriengruppe „Komfort und Raumluftqualität“ auf maximal 180 Punkte addieren, wohingegen diese Hauptkriteriengruppe selbst mit einer Gesamtpunktezahl von 120 Punkten begrenzt ist. Unter diesem Gesichtspunkt kann abgeschätzt werden, dass Baustoffe das Gesamtergebnis mit maximal 290 Punkten und bis zu 29 % beeinflussen können. Der Einfluss des Gebäudekonzeptes kann hingegen einen Anteil von bis zu 640 Punkten oder 64 % erlangen.

3.3.2 Total Quality Building Standard 2010 (TQB)

Beim aktuellen Total Quality Building Standard 2010 handelt es sich um eine Weiterentwicklung des Total Quality Standards 2002. Dieser benutzt ein 1.000 Punktesystem und folgende fünf übergeordnete Hauptkriteriengruppen: „Standort und Ausstattung“, „Wirtschaftlichkeit und technische Objektqualität“, „Energie und Versorgung“, „Gesundheit und Komfort“ sowie „(Baustoffe und) Ressourceneffizienz“ (Abbildung 41). Diese Hauptkriteriengruppen sind gleichermaßen gewichtet, indem sie mit jeweils 200 erreichbaren Punkten versehen wurden. Im Folgenden wird der Einfluss der Baustoffwahl und getrennt davon der Einfluss durch die

Wahl des Gebäudekonzeptes anhand der Gewichtung der Kriterien im Katalog für Neubau Wohngebäude (Version 2012)²² analysiert. In der folgenden Grafik sind jene Untergruppen blau hervorgehoben, die als durch die Wahl der Baustoffe beeinflussbar erachtet wurden. Jene mit Beeinflussbarkeit durch das Gebäudekonzept wurden grün eingefärbt. Auch in diesem Katalog wurden keine Kriterien festgestellt, die sowohl durch die Baustoffwahl als auch durch die Wahl des Gebäudekonzeptes beeinflussbar erscheinen.

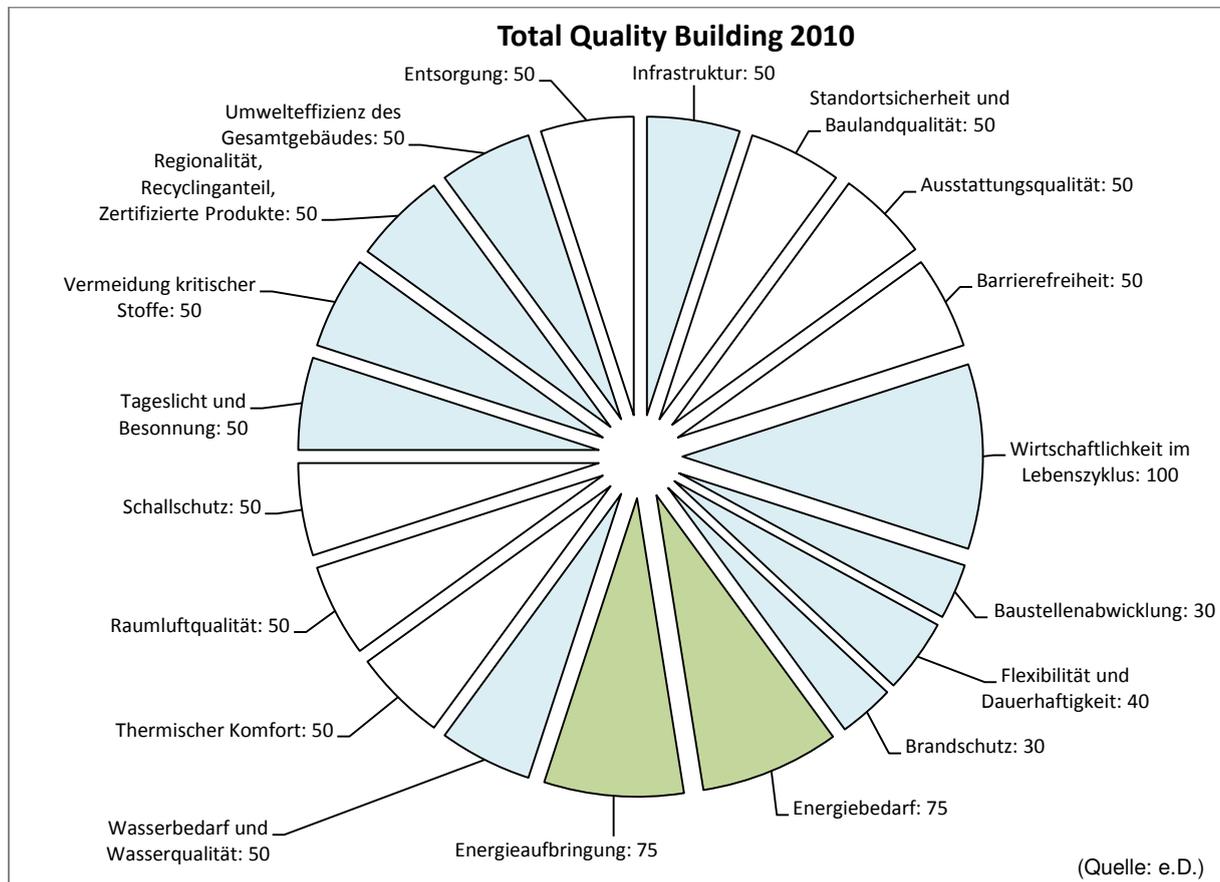


Abbildung 41: Untergruppen des Total Quality Building 2010 Standards und ihre Gewichtung im Katalog für Neubau Wohngebäude

Die Wahl der Baustoffe beeinflusst die Untergruppen der Hauptkriteriengruppe „Ressourceneffizienz“ und damit einen Anteil von bis zu 20 % der erzielbaren Gesamtpunktzahl. Weiters kann die Wahl der Baustoffe folgende Untergruppen aus der Hauptgruppe „Wirtschaftlichkeit und technische Gebäudequalität“ beeinflussen: „Wirtschaftlichkeit im Lebenszyklus“ mit bis zu 100 Punkten, „Flexibilität und Dauerhaftigkeit“ mit bis zu 40 Punkten, „Brandschutz“ mit bis zu 30 Punkten. Aus der Hauptkriteriengruppe „Gesundheit und Komfort“ können folgende Untergruppen durch Baustoffe beeinflusst werden: „Thermischer Komfort“ mit bis zu 50 Punkten, „Raumluftqualität“ mit bis zu 50 Punkten und „Schallschutz“ mit bis zu 50 Punkten. Insgesamt kann abgeschätzt werden, dass Baustoffe in diesem System mit bis zu 520 an den insgesamt 1.000 erzielbaren Punkten und damit mit bis zu 52 % Ein-

²² <https://www.oegnb.net/zertifikat.htm?typ=wb> [Stand 2013.11.22]

fluss gewinnen können. Aus Sicht der Wahl des Gebäudekonzeptes wurde ein Einfluss auf die beiden Untergruppen „Energiebedarf“ und „Energieaufbringung“ mit jeweils 75 Punkten identifiziert, der Einfluss beträgt damit insgesamt bis zu 15 % an der Gesamtbewertung.

3.3.3 DGNB / ÖGNB-Zertifizierung

Das DGNB Zertifizierungssystem sieht eine Einteilung der Kriterien in fünf Kategorien vor. Die vier Kategorien „Ökologie“, „Ökonomie“, „Sozio-Funktionale-Qualität“ und „Technische Qualität“ wurden gleichwertig mit jeweils 22,5 Prozentpunkten versehen, weiters wurde die Prozessqualität mit 10 Prozentpunkten bewertet (siehe Abbildung 42). Erhoben wird außerdem der Standort des Gebäudes, der allerdings nicht in die Bewertung einfließt.



(Quelle: ÖGNI „DGNB Systembroschüre“, Linz 2013)

Abbildung 42: Kriteriengewichtung in der DGNB/ÖGNB-Zertifizierung

Anhand des Kriterienkataloges für Neubau Wohngebäude, Version 2012²³ wird analysiert, in wie weit die Wahl der Baustoffe und die Wahl des Gebäudekonzeptes die Gesamtbewertung in diesem System beeinflussen können. Jene Kriterien, die durch die Wahl der Baustoffe beeinflussbar sind, wurden in der folgenden Grafik (Abbildung 43) blau hervorgehoben. Kriterien, die sowohl durch die Wahl der Baustoffe als auch durch die Wahl des Gebäudekonzeptes beeinflussbar sind, wurden mit einem blau-grünen Muster versehen. Die Analyse ergibt für jene Kriterien, die durch die Baustoffwahl beeinflussbar sind einen Anteil von bis zu 59 % an der Gesamtbewertung. Jene Kriterien, die durch die Wahl des Gebäudekonzeptes beeinflussbar sind, können einen Anteil von bis zu 17 % an der Gesamtbewertung einnehmen. Die 17 % sind zugleich jener Anteil an Kriterien, die sowohl durch die Wahl der Baustoffe als auch durch die Wahl des Gebäudekonzeptes beeinflusst werden können, hier überlagern sich also die beiden Betrachtungen.

²³ http://www.dgnb-system.de/fileadmin/de/dgnb_system/Nutzungsprofile/Kriterienuebersicht/Kriterienbersicht_NWO12_120801.pdf
[Stand 2013.11.22]

Bewertungskriterien im DGNB/ÖGNI Zertifizierungssystem



(Quelle: e.D.)

Bewertungskriterien für Neubau Wohngebäude, Version 2012

Abbildung 43: Bewertungskriterien für Neubau Wohngebäude 2012 der DGNB/ÖGNI-Zertifizierung

3.3.4 Der IBO Ökopass

Der IBO Ökopass sieht zwei Gruppen für Hauptkriterien vor: die „Nutzungsqualität“ und die „ökologische Qualität“. Diese beiden Hauptkriterien werden weiter in acht gleich gewichtete Kriterienbereiche unterteilt. Innerhalb der acht Kriterienbereiche erfolgt eine definierte und gewichtete Verteilung nach weiteren Detailkriterien. Die Analyse des Einflusses der Baustoffwahl und der Wahl des Gebäudekonzeptes erfolgt anhand der IBO Ökopass-Bewertung (V5.2)²⁴. Der IBO Ökopass weist den acht Kriterienbereichen selbst keine Punktezahl zu. Da die Kriterienbereiche gleich gewichtet sind, können Ihnen für den Zweck der Analyse im Rahmen dieses Forschungsprojektes jeweils 100 erzielbare Punkte zugewiesen werden. Damit ergibt sich insgesamt eine erzielbare Gesamtpunktezahl von 800 Punkten. Die Gewichtung der Detailkriterien innerhalb der Kriterienbereiche erfolgt im Sinne der Vorgaben des Ökopass-Bewertungssystems. In der folgenden Grafik (Abbildung 44) wurden die Kriterien mit Beeinflussbarkeit durch die Baustoffwahl blau und die Kriterien mit Beeinflussbarkeit durch die Wahl des Gebäudekonzeptes grün belegt. Eine Überschneidung dieser beiden Kriterientypen wurde nicht festgestellt.

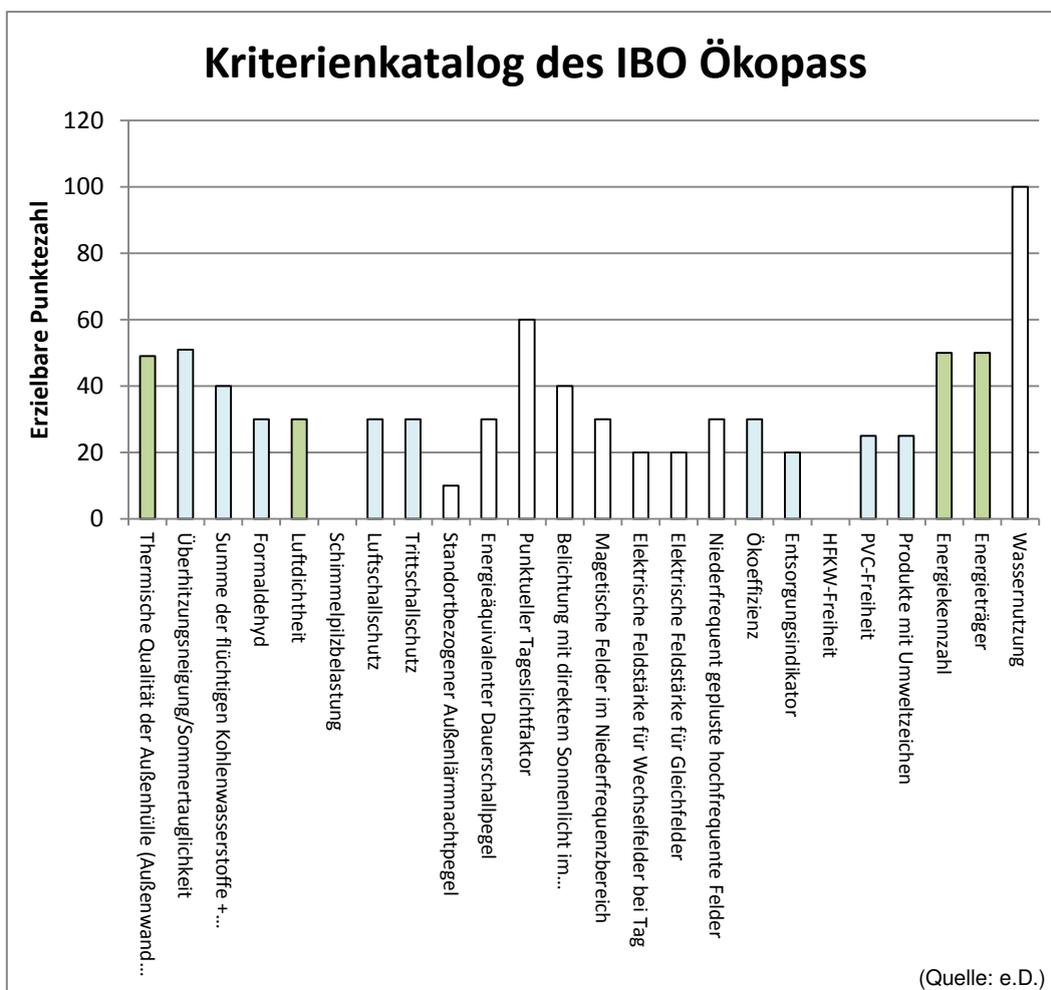


Abbildung 44: Kriterienkatalog des IBO Ökopass

²⁴ Per Email übermittelt am 15. November 2013

Die Analyse ergibt, dass jene Kriterien, die durch die Wahl der Baustoffe beeinflusst werden können, einen Anteil von bis zu 35 % an der Gesamtbewertung einnehmen können. Bei den Kriterien, auf die die Wahl des Gebäudekonzeptes Einfluss nimmt, kann ein Anteil von bis zu 22 % an der Gesamtbewertung erreicht werden.

3.3.5 Zusammenfassender Überblick

In den untersuchten Gebäudezertifizierungssystemen wurden die möglichen Einflüsse durch Baustoffe und Gebäudekonzepte bewertet. Tabelle 7 zeigt deren prozentuelle Anteile am jeweiligen Gesamtbewertungssystem.

Tabelle 7: Kriterienkatalog des IBO Ökopass

Kriterien	Zertifizierungsprogramm	klima:aktiv	TQB 2010	DGNB	IBO Ökopass
	Anteile am Gesamtbewertungsprogramm in [%]				
durch Baustoffe beeinflussbar		29	52	59	35
durch das Gebäudekonzept beeinflussbar		64	15	17	22

(Quelle: e.D.)

Das klima:aktiv System baut stärker auf den Vorgaben des Energieausweises auf, wobei der Vermeidung von CO₂-Emissionen in der Nutzungsphase (Heizenergie) ein großer Stellenwert im Bewertungssystem eingeräumt wird. Demgegenüber sind die Kriterienkataloge von TQB und DGNB deutlich breiter diversifiziert. Dieser Umstand wird in Abbildung 45 verdeutlicht.



(Quelle: Österreichische Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen)

Abbildung 45: Gegenüberstellung der ÖGNB/TQB Bewertung zum klima:aktiv Haus

3.4 Ergebnisse der Lebenszyklus-Kostenbilanzierung (LCC)

Der Durchrechnungszeitraum von 50 Jahren für die Barwerte ist allen Auswertungen der Lebenszykluskosten zugrunde gelegt. Erfasst wurden hierbei sowohl die Bauwerke an sich, als auch die haustechnische Ausstattung in den sechs beschriebenen Varianten. Die Farbgebung der Balken in Abbildung 46 bis 48 orientiert sich an der in Tabelle 2 gelisteten Variantenzusammenstellung (siehe Seite 14).

Der Balkengrund bezeichnet die Bauvarianten:

Orange	Ziegelgebäude
Grün	Betongebäude
Violett	Holzspanbetongebäude
Gelb	Holzgebäude

Die Balkenfarben bezeichnen die Energiestandards:

Grün	Niedrigenergiegebäude
orange	Sonnenhäuser
dunkelblau	Passivhäuser
hellblau	Plusenergiehäuser

Die Schraffur weist auf Pellets-beheizte Gebäudevarianten hin.

Die Barwerte einer Lebenszykluskostenbilanz erfassen alle Kosten, die im Zuge der Errichtung und Nutzung des Gebäudes (inklusive Heiz- und Betriebskosten) auftreten, nach der Barwertmethode abgezinst auf den gegenwärtigen Berechnungszeitpunkt. Barwerte stellen somit den Gegenwartswert künftiger Ausgaben dar. Hierfür wird ein Zinssatz angenommen, der sich durch die Wirtschaftsentwicklung in größeren Zeiträumen bestimmt bzw. auf Erfahrungswerten beruht. Grundsätzlich ist dieser zugrunde gelegte Abzinsungsfaktor vom Bilanzierer wählbar; er muss aber plausibel sein, ausreichend begründet, und muss offen gelegt werden. In diesem Projekt wurden 5,5 % Verzinsung angesetzt (siehe Ergebnisblätter der Gebäudevarianten in Anhang 2).

Dass 50 Jahre für die Bilanzierung der Lebenszykluskosten angesetzt wurden, hat rein bilanztechnische Gründe und bedeutet nicht, dass die Gebäude nach diesen 50 Jahren keinen Wert mehr haben. Der ökonomische Restwert (Verkehrswert) eines Gebäudes ist sehr stark abhängig von den laufenden Erhaltungsmaßnahmen, der jeweiligen Marktsituation (Standort und Konjunktur) sowie vom jeweils aktuellen Stand der Technik.

In den folgenden Abbildungen sind die Lebenszykluskosten aller Gebäudevarianten einander gegenüber gestellt. Abbildung 46 zeigt die Gesamtbarwerte der Gebäudekosten über 50 Jahre und Abbildung 47 zeigt diese Barwerte bezogen auf die Bruttogeschosßfläche und Nettonutzfläche der Gebäude. Im Anschluss daran werden die Ergebnisse besprochen.

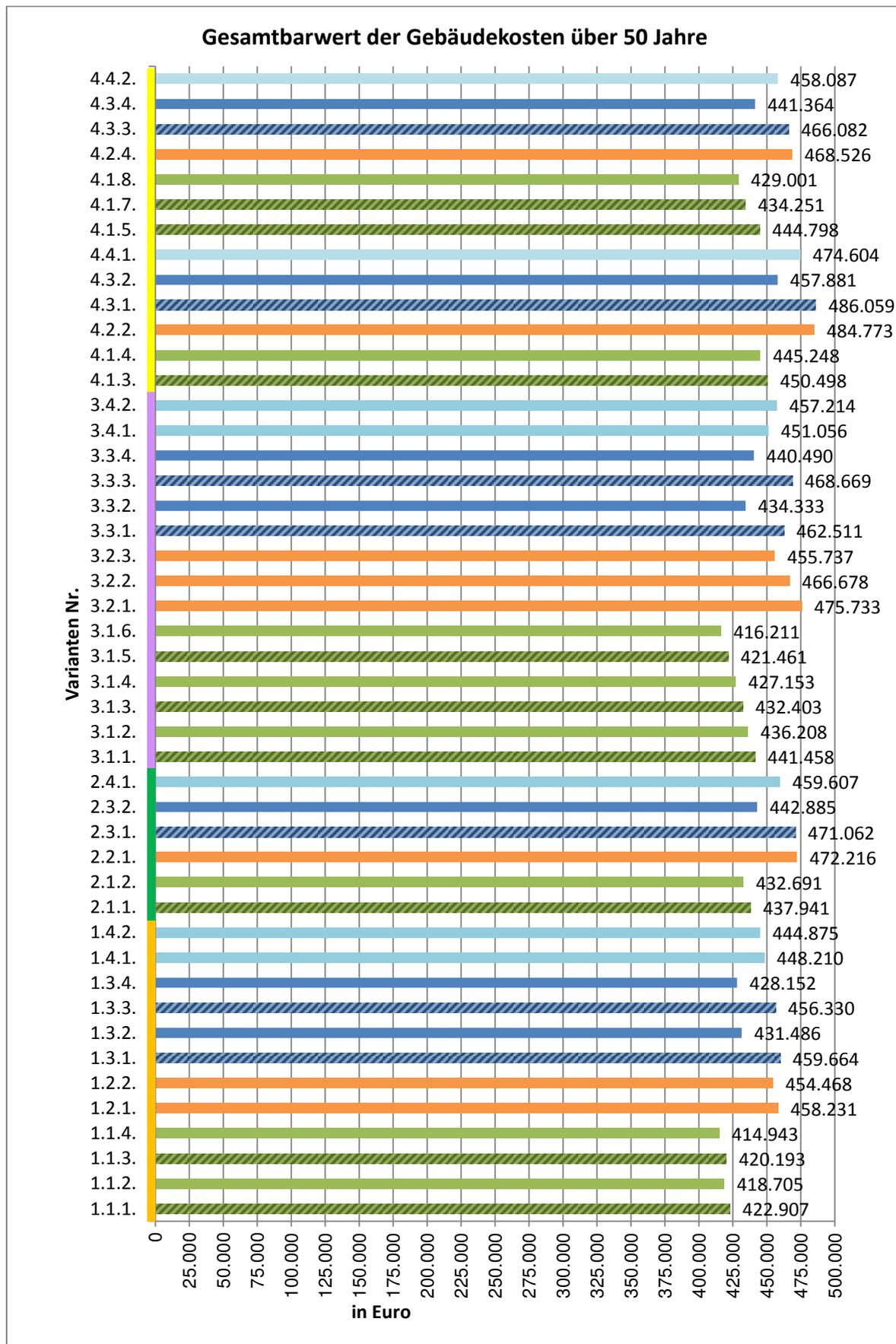


Abbildung 46: Gegenüberstellung der Gesamtbarwerte in Euro, Bilanzierungszeitraum 50 a

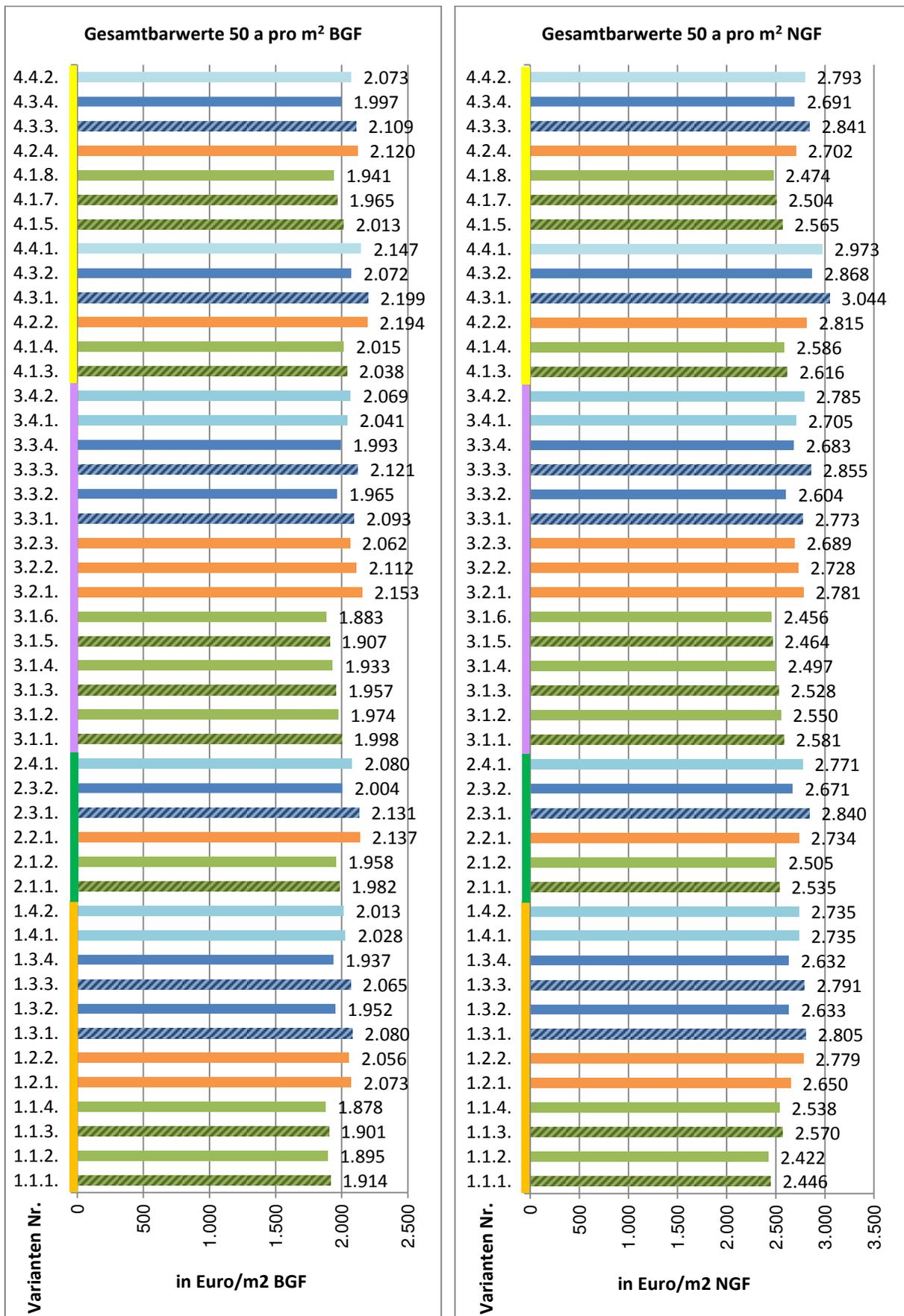


Abbildung 47: Gegenüberstellung der Gesamtbarwerte in Euro pro m² Bruttogeschoßfläche und pro m² Nettogeschoßfläche, Bilanzierungszeitraum 50 a

Die Barwerte laut Abbildung 46 spielen sich in einer Größenordnung von 415.000 bis 486.000 Euro ab. Die niedrigsten Gesamtbarwerte haben das Ziegelgebäude in Niedrigenergiebauweise ohne äußere Dämmung mit Wärmepumpe (1.1.4) und das Niedrigenergiehaus aus Holzspanbeton einschalig mit Wärmepumpe (3.1.6). Den höchsten Barwert hat das Passivhaus in Holzmassivbauweise mit Pelletsheizung (4.3.1). Die Sonnenhäuser liegen in der gleichen Größenordnung wie die Passivhäuser mit Pelletsheizung derselben Bauweise.

Die Gesamtbarwerte der Ziegelgebäude in Niedrigenergiestandard sind sehr ähnlich, egal, welches Heizsystem eingesetzt wird. Bei den Holzspanbauweisen ist allerdings sehr wohl ein preislicher Unterschied auszumachen. Die Passivhäuser mit Pelletsheizung in Ziegelbauweise sind über den Lebenszyklus um knapp 30.000 Euro kostenintensiver als jene mit Wärmepumpe. Bemerkenswert ist der Umstand, dass die Passivhäuser und Plusenergiehäuser barwertmäßig durchwegs über den Niedrigenergiehäusern in gleicher Bauweise liegen. Die Barwerte der Gebäudevarianten in Massivholzbauweise liegen über jenen in Holzrahmenbauweise.

Abbildung 47 zeigt links den Gesamtbarwert der jeweiligen Variante bezogen auf die Bruttogeschoßfläche und rechts bezogen auf die Nettogeschoßfläche (Nutzfläche). Bei der gegenüberstellenden Betrachtung dieser beiden Auswertungsgrafiken wird ersichtlich, dass sich das Ergebnis bezogen auf die Nettonutzfläche leicht verändert. Wenn bei dem Bezug auf die Bruttofläche noch das Sonnenhaus etwa den gleichen Barwert der Passivhausvarianten hat, so sind die Barwerte der Sonnenhäuser bezogen auf die Nettofläche niedriger als jene der Passivhausvarianten. Innerhalb eines Energiestandards (Sonnenhaus SH entspricht Niedrigenergiestandard NEH) beträgt die Barwertspanne pro m² BGF maximal 195 Euro und 357 Euro/m² NGF, wogegen der Barwert aller Gebäudevarianten grundsätzlich von 2.422 bis 3.044 Euro/m² NGF, also um 622 Euro/ m² NGF variiert.

Die Darstellung der Barwerte in Abbildung 48 aufgeteilt in die ursprünglichen Baukosten (Herstellung A1-A3) und in die Kosten aus dem Gebäudebetrieb (Nutzung B6) macht wiederum die große Bedeutung der Haustechnik bzw. des gewählten Energiestandards deutlich. Bei den reinen Errichtungskosten liegen die Niedrigenergiehäuser in ihrer Baustoffkategorie am günstigsten, Passivhäuser, Sonnenhäuser und Plusenergiehäuser sind höherpreisig. Bei der Nutzungsphase in Abbildung 48 (rechts) wird ersichtlich, dass die Sonnenhäuser sehr kosteneffizient im Betrieb sind, da sie mindestens 50 % ihres Wärmebedarfes aus der Sonneneinstrahlung generieren (hier 60 % solare Deckung). Die Wärmepumpenvarianten liegen aufgrund ihrer geringeren Primärenergieverbrauchs unter den Pellets beheizten Varianten, bei den NEH geringfügig bei den PH deutlich.

Das negative Ergebnis der Plusenergiehäuser ergibt sich aus den Verkäufen des nicht selbst verbrauchten Solarstroms der Photovoltaikanlagen, selbstverständlich fallen auch in Plusenergiehäusern Kosten für den Gebäudebetrieb an. Da die Höhe der Einspeisevergütung für Solarstrom langfristig schwer vorherzusagen ist und stark von politischen Entscheidungen abhängig ist, muss die Aussagekraft dieser Ergebniswerte sehr hinterfragt werden, zumal für die nächsten 50 Jahre eine stabile Preissituation zugrunde gelegt wurde. Der Berechnung basiert auf heutigen Energiepreisen.

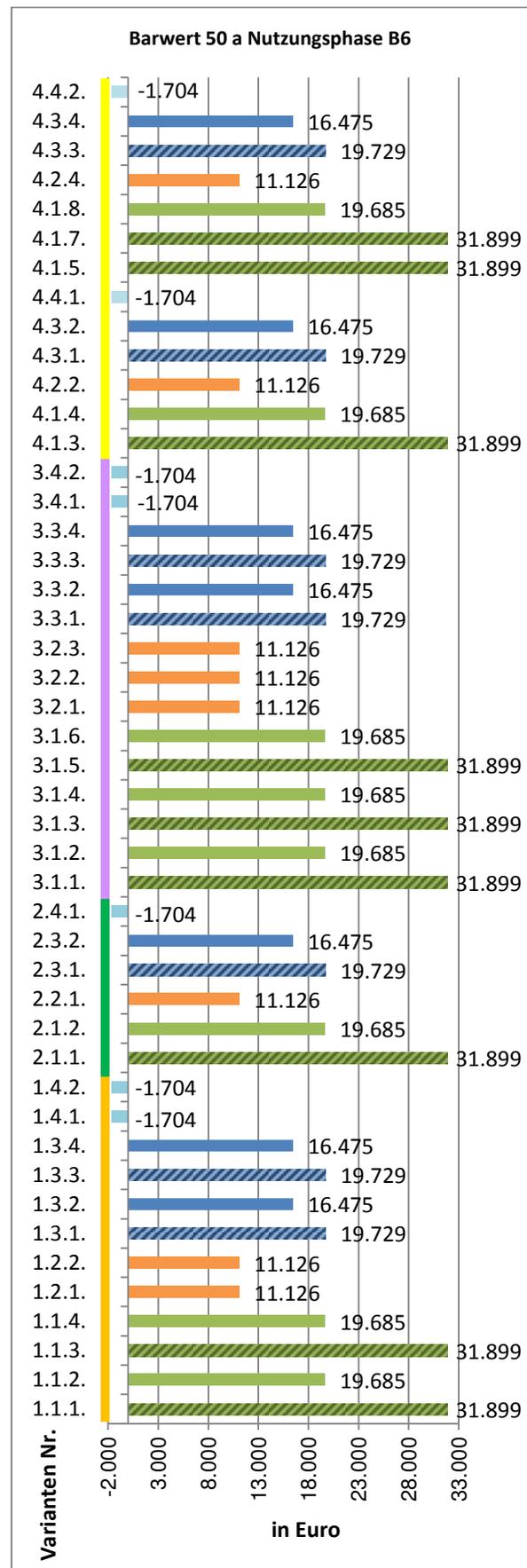
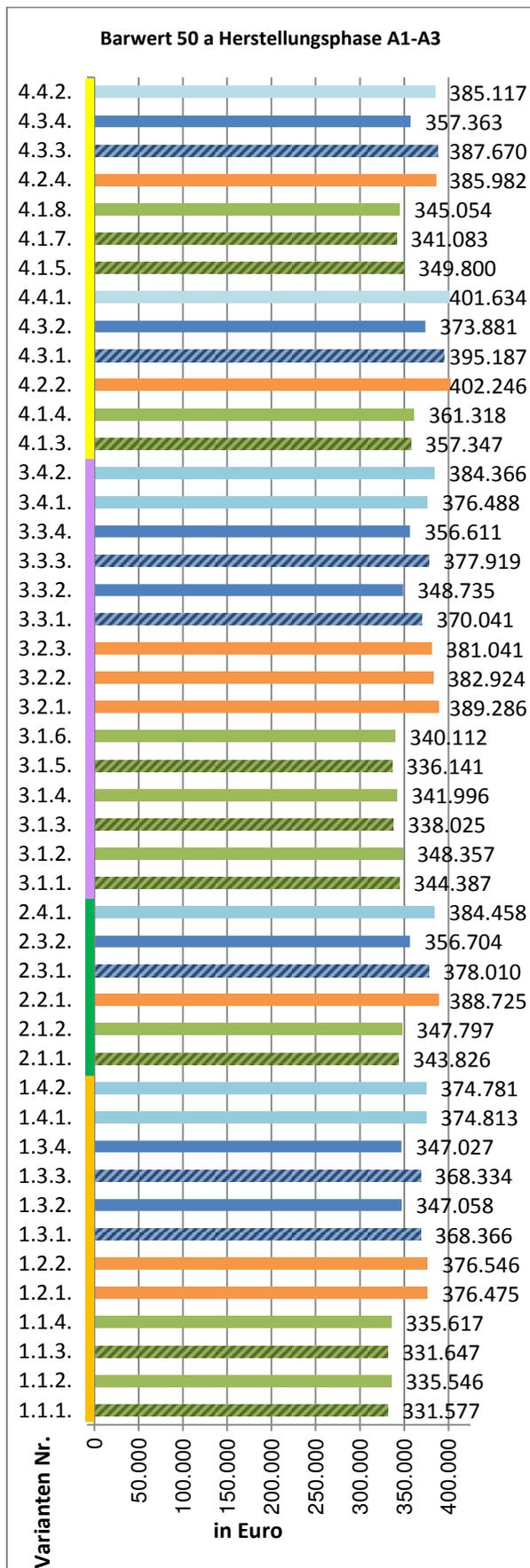


Abbildung 48: Gegenüberstellung der Barwerte für Herstellung A1-A3 und Nutzung B6 in Euro, Bilanzierungszeitraum 50 a

4 Detailangaben in Bezug auf die Ziele des Programms

4.1 Einpassung in das Programm

Im Rahmen des Forschungsprogramms „Haus der Zukunft Plus“ wird angestrebt, durch grundlegende Forschungsarbeiten energierelevante Innovationen im Gebäudebereich einzuleiten bzw. ihre Markteinführung oder -verbreitung zu forcieren. Die neuen Technologien bzw. Innovationen sollen maßgeblich zur Entwicklung einer mit einem nachhaltigen Energiesystem zu vereinbarenden Gebäudekonzeptionierung und zur Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit österreichischer Unternehmen beitragen.

Auf Grundlage aktueller Forschungsergebnisse, speziell jener der 1. Ausschreibung, wurden im Rahmen der projektgegenständlichen 2. Ausschreibung und der bereits gestarteten Leitprojekte unter „Strategien, Vernetzung und Ausbildung“ diverse Fragestellungen definiert und ausgeschrieben.

Ein Fokus in diesem Schwerpunkt bestand in der Durchführung eines wissenschaftlichen ökologischen und wirtschaftlichen Vergleichs der Verwendung verschiedener Baustoffe über den ganzen Lebenszyklus bei der Errichtung eines Gebäudes. Die vorgenommenen Forschungsaktivitäten entsprechen vollinhaltlich den vorgegebenen Aufgabenstellungen und sind im Rahmen des vorliegenden Endberichts dargestellt.

4.2 Beitrag zum Gesamtziel des Programms

Zentrales Ziel des Programms ist die Entwicklung und Markteinführung bzw. Marktdurchdringung wirtschaftlich umsetzbarer, innovativer technischer und organisatorischer Lösungen im Sinne eines CO₂-neutralen Gebäudesektors.

Die Studie leistet zum bestehenden Forschungsbedarf hinsichtlich der ökologischen Gesamtbetrachtung von Gebäudekonzepten einen Beitrag, indem sie vier moderne, innovative Gebäudekonzepte, deren Konstruktion, Baumaterialien und Haustechnik im ökologischen und ökonomischen Vergleich über den gesamten Lebenszyklus untersuchte.

Die Forschungsarbeit trägt damit und durch vergleichbare Kostenkalkulation zur Marktdurchdringung wirtschaftlich umsetzbarer, innovativer Lösungen im Sinne eines CO₂-neutralen Gebäudesektors bei.

Parallel dazu können, durch die genaue Kenntnis der ökologischen Auswirkungen der unterschiedlichen Komponentenvariationen, geplante Förder- bzw. PR-Maßnahmen zielgerichteter und effizienter umgesetzt werden.

Die bisher von Österreich erreichte Technologieführerschaft in Technologien des nachhaltigen Bauens bzw. der Energiebereitstellung wird mit dem ausgeführten umfassenden Ansatz der Lebenszyklusberechnungen der Gebäude weiter ausgebaut und lässt letztlich nicht nur

den ökologischen Vergleich zu, sondern konzentriert sich ebenso auf die wirtschaftliche Umsetzbarkeit nachhaltiger Technologien. Dies ist besonders für die Marktdurchdringung von Relevanz.

Durch die im Rahmen der durchgeführten Studie geschaffenen Kostentransparenz und mehr Transparenz über tatsächliche Energieeffizienz, ist davon auszugehen, dass sich innovative Gebäudekonzepte, Technologien und Bauprodukte auf dem Markt leichter durchsetzen können.

4.3 Einbeziehung der Zielgruppen (Gruppen, die für die Umsetzung der Ergebnisse relevant sind) und Berücksichtigung ihrer Bedürfnisse im Projekt

Durch die Kooperation der Institute und Experten werden nicht nur der Know-how-Transfer als auch die bisherige Vernetzung untereinander verstärkt, sondern darüber hinaus die zahlreichen Netzwerkkontakte zu Unternehmen der österreichischen Wohnungs- und Bauwirtschaft zwecks Dissemination der Ergebnisse genutzt. Die relevanten Zielgruppen finden sich in der bauausführenden Wirtschaft im Bereich der Dienstleistungs-, Prozess- und Systemerstellung und bei Bauprodukteherstellern sowie in kleinen und mittleren Unternehmen der österreichischen Immobilienwirtschaft.

Es ist davon auszugehen, dass der Informationstransfer des neuen Wissens, die Transparenz und die Gewährleistung der Objektivität der Daten positive Effekte für die Zielgruppen generieren werden. Durch Transfer- und Vernetzungsaktivitäten gut informierte Unternehmen sind eher bereit, ihre Innovationsbereitschaft zu steigern, womit der wirtschaftliche Erfolg der Unternehmen sichergestellt werden soll und Wettbewerbsvorteile geschaffen werden können.

Generell dienen die Verbreitung und der Transfer von Wissen zu den ProfessionistInnen der Transformation des Bausektors und damit dem weiteren Ausbau in Technologien nachhaltigen Bauens.

4.4 Beschreibung der Umsetzungs-Potenziale (Marktpotenzial, Verbreitungs- bzw. Realisierungspotenzial) für die Projektergebnisse

Von den Ergebnissen profitiert besonders die Wohnungswirtschaft, deren ökologische Ansprüche besonders im Hinblick auf die Entwicklung und Marktdurchdringung auch ökonomisch umsetzbarer, innovativer Lösungen weiter steigt. Die an die Voraussetzung der Energieeffizienz gerichteten Wohnbauförderungsmittel der Länder zeigen, dass wohnungspolitische Entscheidungsträger die Notwendigkeit der Reduktion treibhausrelevanter Emissionen im Gebäudesektor erkannt haben.

Neben dem Nutzen der Energieeinsparung und damit zunehmender nationaler Unabhängigkeit von Energieimporten lassen sich durch Schaffung neuer Gebäudetechnologien bzw. durch die Umrüstung auf erneuerbare Energieträger Wachstums- und Beschäftigungseffekte in der Bauwirtschaft erzielen.

Eine Marktdurchdringung mit Innovationen sichert die technologische Position Österreichs und die Erhöhung des Forschungs- und Entwicklungsanteils. Neben den außenwirtschaftlichen Vorteilen, die durch den Systemexport neuer Gesamtsysteme zu erwarten sind, sind besonders die positiven Auswirkungen auf das Klima bzw. CO₂ Emissionen von gesellschaftlicher Relevanz.

Die Studie kann als Entscheidungsgrundlage für die Politikgestaltung dienen und erleichtert die Orientierung und Transparenz im Hinblick auf die unterschiedliche technologische Dimensionierung von Gebäudekonzepten für die förderpolitische Orientierung und Positionierung in Bezug auf Energieeffizienz.

5 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen

Der Gebäudevergleich auf Basis der Lebenszyklusanalyse eines beispielhaften Einfamilienhauses mit einer für Österreich typischen Größe über die Nutzungsdauer von 100 Jahren zeigt, dass die Wahl der Baustoffe kaum einen Einfluss auf das Gesamtergebnis hat. Als entscheidend stellt sich das Haustechnikkonzept heraus, sowie die Wahl der eingesetzten Komponenten und Energieträger bzw. der grundsätzliche Energiestandard eines Gebäudes. Es wird außerdem deutlich, dass die historisch geprägte, ausschließliche Betrachtung des Heizwärmebedarfes für die Beurteilung moderner Gebäudekonzepte zu Fehleinschätzungen führt. Die Einzelergebnisse der verschiedenen Umweltindikatoren belegen, dass kein bestimmter Baustoff, kein Energiestandard und somit keine Gebäudevariante bei allen Indikatoren die anderen überragt. Es ist immer eine Frage der Betrachtungsweise, welches Konzept das geeignetste für den jeweiligen Fall ist.

Eine seriöse Antwort für suchende Bauwillige kann niemals nur eine bestimmte Bauweise oder ein bestimmter Energiestandard sein. Es gibt viele Aspekte, die im Zusammenhang mit einem Gebäude zu beachten sind. Seriös ist dementsprechend nur eine Beurteilung der Gesamtsituation: Standort, klimatische Besonderheiten, Sonneneinstrahlung bzw. Verschattungen, Sonnenstunden im Winter, Verfügbarkeit erneuerbarer Energieträger, Preisstabilität von Energieträgern, Möglichkeiten zur Eigenversorgung, Möglichkeit zur Nutzung von Ressourcen, besondere Nutzungen im Gebäude, spezielle Bedürfnisse der Nutzer usw. Der Bauherr oder die Bauherrin haben ein Recht, mit Ehrlichkeit und Anstand, baustoff-, system- und produktneutral beraten zu werden. Und dieses Projekt beweist ohnehin: das einzig selig machende und die Welt rettende Gebäudekonzept gibt es nicht. Eine einseitige Protektion eines bestimmten Baustoffes, eines bestimmten Energie- oder Gebäudekonzeptes durch Politik und Förderstellen würde die Gefahr des „Zuviel vom Gleichen“ in sich bergen. Ausschließlich Stromheizungen zu unterstützen, brächte einen extremen Anstieg des Stromverbrauchs mit den Folgen einer problematischen Versorgungssicherheit und einer zunehmenden Importab-

hängigkeit. Die Antwort liegt – wie in der Genetik – immer in der Vielfalt und in der Weiterentwicklung dessen, was existiert. Innovationen und Neuerfindungen sind hierbei nicht ausgeschlossen und absolut notwendig. Ein Energieversorgungssystem braucht eine gewisse Flexibilität und die kann nur durch Vielfalt sichergestellt werden.

Im Projekt stellte sich heraus, wie stark die Ergebnisse von der Datenbasis unterschiedlicher Bilanzierungssysteme abhängen. Hier ein einheitliches und international gültiges Bewertungsschema schaffen zu wollen, ist schwierig, da die Daten wiederum sehr stark von den produzierenden Zweigen der Bauwirtschaft abhängen. Außerdem liegt nahezu jedem Bilanzierungssystem eine andere Absicht zugrunde und wird durch diese beeinflusst. Die Ergebnisse zeigen aber auch, dass heutige Energieausweisprogramme (basierend auf Normen) und Bilanzierungssysteme die hohen Wärmegewinne aus der Solaranlage eines Sonnenhauses nicht abbilden können. Hier besteht dringender Handlungsbedarf, denn die Technik entwickelt sich laufend weiter, was aber in Tools und Normen nur schleppend und mit starker zeitlicher Verspätung einfließt. Beispielsweise entsprechen die Standardeinstellungen bei den Hilfsstrombedarfen und Leistungen von Pumpen und Biomasseheizungen nicht dem heutigen Stand der Technik und sind deutlich zu hoch angesetzt. Derartige methodische Lücken müssen dringend geschlossen werden, damit die Energiestandards von Gebäuden korrekt dargestellt werden können.

Für einen zukunftsfähigen Gebäudestandard muss an erster Stelle einerseits die Bedarfsminimierung stehen, andererseits die Versorgung mit erneuerbaren Energieträgern. Ein sehr wichtiger Punkt ist auch, die Lebens- und Nutzungsdauern von Gebäuden und ihren Bauteilen zu erhöhen, weg vom Kurzfristendenken einer einzigen Generation und weg von der geplanten Gebäudeobsoleszenz. Gebäude müssen wieder eine Sache über Generationen werden, und dementsprechend ist es äußerst wichtig, ihre Planung ganzheitlich und gleichzeitig flexibel auszulegen. Nur so können sie sich mit den sich wandelnden Bedürfnissen ihrer Nutzer mitverändern und ihnen entsprechen. Dies kann nur über die Generationengrenze hinweg geschehen. Damit wird auch der zusätzliche Materialeinsatz durch Umbauten und Erneuerungen über die gesamte Gebäudelebensdauer begrenzt.

Annahmen für die Berechnung von Energieausweisen und Bilanzierungsansätze beziehen sich auf ein Normverhalten der Gebäudenutzer. Zahlreiche Studien belegen, dass hinsichtlich des Energieverbrauchs die Nutzer selbst den größten Einfluss haben. Unangepasstes Nutzerverhalten kann sogenannte Rebound Effekte verursachen, die tatsächlichen Energieverbräuche können die berechneten Energiebedarfe deutlich übersteigen. Diese Mehrverbräuche erreichen mitunter bis zu 100 % des berechneten Energiebedarfes für die Heizwärmebereitstellung, 60 % Mehrverbrauch ist keine Seltenheit (Sölkner 2012). Die Notwendigkeit, solche Mehrverbräuche durch geeignete Maßnahmen – und dazu gehören neben technischen Voraussetzungen in erster Linie Information, Aufklärung und Schulung der Nutzer – zu beschränken, muss dringend von Öffentlichkeit und Politik wahrgenommen werden.

Die reine Betrachtung der Anfangsinvestition eines Gebäudes, d.h. ausschließlich der Errichtungskosten (Herstellungskosten), schafft niemals ein korrektes Bild über die wahren Kosten eines Gebäudes. Wengleich eine Lebenszykluskostenbilanzierung auf diversen Annahmen

beruht, zeigt sich im Projekt ganz deutlich, dass auch hier die Gesamtkosten über die ange-setzte Nutzungsdauer (50 Jahre) sehr stark von den laufenden Kosten der Gebäudenutzung beeinflusst werden. Umbauten und Sanierungszyklen sind eine Frage der Produktqualität, des Standes der Technik, aber auch des Geschmacks. Solche Kosten sind steuerbar, die Betriebskosten hingegen sind – einmal durch den Energiestandard eines Gebäudes bei der Errichtung festgelegt – nur geringfügig beeinflussbar. Lediglich technische Fortschritte und Erneuerungen können hier greifen. Die Bilanzierung der Lebenszykluskosten zeigt, dass technische Systeme kostengünstiger werden müssen, damit diese auch die Kosten die Um-weltverträglichkeit widerspiegeln. Ziel ist die mögliche Adaptierung von technisch überholten Systemen durch Austausch weniger Bauteile, was ressourcenschonend und kostensparend wäre.

Die reine Kostengutschrift der Stromerträge aus der Photovoltaikanlage eines Plusenergie-gebäudes lässt leicht darüber hinweg täuschen, dass auch hier Kosten für die Gebäudenut-zung anfallen. Keineswegs politisch gesichert sind angesetzte Einspeisevergütungen, was eine Vorkalkulation der Kosten schwierig macht. Dasselbe gilt für die Zinssätze zur Abzin-sung, die immer nur eine auf Erfahrungswerten basierte Annahme sein können. Dennoch ist die Abschätzung der Gesamtkosten eines Gebäudes über seinen gesamten Lebenszyklus eine wichtige Entscheidungshilfe. Sie sollte als solche für jedes Gebäude – nicht nur für gro-ße Bürobauten – zum Einsatz kommen. Dafür müssen allerdings einfache Werkzeuge²⁵ ver-fügbare sein, damit solche Bilanzen rasch und zu angemessenen Kosten erstellt werden kön-nen.

6 Ausblick und Empfehlungen

Da der Energieverbrauch durch die Gebäudenutzung einen wesentlichen Anteil der Umwelt-wirkung von Gebäuden verursacht, muss auf selbigen das Hauptaugenmerk bei der Planung und Auslegung von Gebäuden gerichtet werden. Umfassende Gesamtkonzepte sind heute auch für kleine Objekte wie Einfamilienhäuser wichtig.

Als Empfehlung für politische Entscheidungsträger, aber auch für private Bauwillige, ergeben sich aus dem Projekt folgende Punkte:

- Es ist nicht richtig, eine bestimmte Bauweise gegenüber einer anderen bevorzugt zu fördern, denn jede hat ihre Schwächen, ihre Stärken und ihre Berechtigung.
- An erster Stelle im Maßnahmenkatalog muss nach wie vor die Erhöhung der Gesam-tenergieeffizienz von Gebäuden stehen.
- Der Einsatz erneuerbarer Energieträger muss entscheidend forciert und deren Kos-tenstabilität sichergestellt werden.
- Systeme zur Abschätzung der Energieverbräuche und zur Gebäudebilanzierung müssen deutlich verbessert und vereinheitlicht werden, ohne ihre Flexibilität einzu-

²⁵ Ein Beispiel dafür ist das klima:aktiv-Tool econcalc, verfügbar in: <http://www.klimaaktiv.at/bauen-sanieren/gebaeudedeklaration/econcalc2.html>

schränken, wodurch diese bei unterschiedlichen Anforderungen angewendet werden können.

- Die Weiterentwicklung, Vereinfachung und Fehlervermeidung bei haustechnischen Systemen ist ein wichtiger Schritt zur Vermeidung technisch bedingter Mehrverbräuche durch die Gebäudenutzung. Daneben gilt es, die Lebensdauer der technischen Einrichtungen durch dauerhaftere Konstruktionen zu erhöhen und Systeme zu entwickeln, die bei einer Erneuerung nur den Austausch von wenigen Teilen erfordern.
- Unterstützend sollte die Energieeffizienz der produzierenden Baustoffindustrie erhöht werden.
- Die Recyclingquoten bei großen Gebäuden sind teilweise sehr hoch. Bei kleinen Objekten ist der finanzielle Aufwand der Trennung von Bauteilen oft noch extrem hoch und ein Recycling unwirtschaftlich. Ein geeigneter Finanzierungsmodus für die Trennung und Rezyklierung relativ geringer Baustoffmengen, wie sie beim Abbruch von Einfamilienhäusern anfallen, sollte dringend erarbeitet werden.
- Die Ausdehnung der Energieberatung auch auf die Nutzungsphase von Gebäuden hin, ist ein wichtiges Instrument zur Bewusstmachung und folglich zur Reduktion der Energieverbräuche, das beim Nutzerverhalten ansetzt. Außerdem ist es sinnvoll, Mechanismen zur Begrenzung des Verschwendungspotenzials von Energie im Gebäudekontext zu entwickeln.

7 Verzeichnisse

7.1 Literatur- und Quellenverzeichnis

- Boogman, Ph. und Mötz, H.: Life Cycle Assessment (LCA) of Building Materials (Cradle to Gate) – Main assumptions of the IBO-Methodology. Hg.: IBO-Österreichisches Institut für Baubiologie- und Ökologie GmbH, Version 2, Wien 2011.
- Boogman, Ph. und Mötz, H.: Richtwerte für Baumaterialien – Wesentliche methodische Annahmen. Version 2.2, Stand Juli 2007, mit redaktionellen Überarbeitungen am 9.10.2009 und 24.02.2010.
- Boogman, Ph. und Mötzl, H.: IBO-Richtwerte für Baumaterialien – Wesentliche methodische Annahmen. Version 2.2, Stand Juli 2007, mit redaktionellen Überarbeitungen am 9.10.2009 und 24.02.2010, URL: http://www.ibo.at/documents/LCA_Methode_Referenzdaten_kurz.pdf.
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2011. Wien, 2011.
- Guinée, M.; Heijungs, H.; Huppes, G.; Kleijn, R.; de Koning, A.; van Oers, L.; Wegener Seeswijk, S.; de Haes, U.; Bruijn, H.; von Duin, R. and Huijbregts, M.: CML 2001 Life Cycle assessment: An operational guide to the ISO standards. Final Report. Leiden: Centre of Environmental Science. 2001.
- ECOSOFT V 5.0 - Software for the ecological assessment of building components and buildings. <http://www.ibo.at/de/ecosoft.htm> (2012-11-21, actual version: ECOSOFT 5.0, including IBO-database 2012).
- Europäischer Rat, 2002. Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden.
- Forster, P.; Ramaswamy, V.; Artaxo, P.; Bernsten, T.; Betts, R.; Fahey, D.W.; Haywood, J.; Lean, J.; Lowe, D.C.; Myhre, G.; Nganga, J.; Prinn, R.; Raga, G.; Schulz, M. and Van Dorland, R.: Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis IPCC 2007. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007.
- Frischknecht, R.; Jungbluth, N.; Althaus, H.-J.; Dok, G.; Dones, R.; Heck, Th.; Hellweg, St.; Hirschler, R.; Memece, Th.; Rebitzer, G.; Spielman, M. und Wernet, G.: Overview and Methodology. Final report ecoinvent v2.0 No. 1, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf 2007.
- IBO-Richtwerte für Baumaterialien – Wesentliche Annahmen. IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH. Zugriff: <http://www.ibo.at/de/oekokennzahlen.htm> (abgerufen am 30. Nov. 2013).
- Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU), EPD für Baustahl, 25.10.2013, EPD-BFS-20130094-IBG1-DE], Berlin. 2013.
- Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU), EPD für Beton C20/25, 26.07.2013, EPD-IZB-2013411-D, Berlin. 2013.
- Mötzl, H. und Pladerer, C.: Haus-der-Zukunft-Demonstrationsbauten – ABC-Disposal-Bewertung. FFG-Projekt Nummer 813974. Unveröffentlichter Bericht. Wien, 2010.
- Mötzl, H. und Wurm, M.: BaubookPlus – Endbericht, Anhang 2: Dokumentation zu den LCA-Referenzdaten von Photovoltaik-Anlagen in Ecosoft und baubook. Wien: IBO Österr. Institut für Bauen und Ökologie GmbH, 2012.
- Mötzl, H. und Wurm, M.: BaubookPlus BaubookPlus – Endbericht, Anhang 1. Dokumentation zu den LCA-Referenzdaten von Haustechnikkomponenten in Ecosoft und baubook. Wien: IBO Österr. Institut für Bauen und Ökologie GmbH, 2012.

- Mötzl, H.: BaubookPlus - Erweiterung einer umfassenden Wissensbasis für nachhaltiges Bauen. Endbericht. Wien: Österr. Institut für Bauen und Ökologie GmbH in Kooperation mit Energieinstitut Vorarlberg, Energie Tirol, 2012.
- ÖWAV-RB 519: Energetische Wirkungsgrade von Abfallverbrennungsanlagen, 2., überarbeitete Auflage. 2013, ÖWAV, Wien.
- Pade, C. und Guimares, M.: The CO₂ uptake of concrete in a 100 year perspective, Cement and Concrete Research 37 (2007).
- Sölkner, P.J.: Rebound Effekte im Heizenergieverbrauch nach thermischer Sanierung von Wohngebäuden. München: Akademiker Verlag, 2012.
- Takano Atsushi: Standards for quantity calculation of building components. Background material for €CO₂ project, 2011.

7.2 Relevante Normen und Richtlinien

- International Standard ISO 15392 / 2008-05-01: Sustainability in building construction – general principles; International Organisation for Standardization 2008
- 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 15221-6 / 2011-12-01: Facility Management, Teil 6: Flächenbemessung im Facility Management, Österreichisches Normungsinstitut 2011
- 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
- ÖNORM EN 15804 / 2012-04-01: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundlagen für die Produktkategorie Bauprodukte; Österreichisches Normungsinstitut 2012
- ÖNORM EN 15978 / 2012-10-01: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode; Österreichisches Normungsinstitut 2012
- ÖNORM EN 16485:2012 (DRAFT): Rund- und Schnittholz – Produkt-Kategorie-Regeln für Holz und Holz-Werkstoffe zur Umwelt-Produkt-Deklaration

7.3 Software

- CML 2001: LCA methodology developed by the Center of Environmental Science (CML) of Leiden University in the Netherlands (v1.05 und v3.2)
- Ecoinvent Data: The Life Cycle Inventory Data, herausgegeben vom Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2011 (Version 2.2)
- ECOSOFT Programm zur quantitativen ökologischen Bewertung von Baukonstruktionen und Gebäuden, herausgegeben vom Österreichischen Institut für Baubiologie und -ökologie (v5.0 und IBO Referenzdatenbank, Version Juli 2012)

7.4 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Herstellung und Austausch der PV-Anlage im Vergleich zu den restlichen Elektro- und Sanitärkomponenten und zu den Einsparungen durch den Stromertrag	24
Abbildung 2: Anteile der Ökobilanzergebnisse der Elektro- und Sanitärkomponenten	24
Abbildung 3: Gesamtbelastungen aus Heizung, Lüftung und Elektroinstallation über den gesamten Lebenszyklus (volle Skalendarstellung)	25
Abbildung 4: Gesamtbelastungen aus Heizung, Lüftung und Elektroinstallation über den gesamten Lebenszyklus (begrenzte Skalendarstellung)	25
Abbildung 5: Kumulierte LCA Ergebnisse Primärenergiebedarf erneuerbar und nicht erneuerbar für alle Haustechnikvarianten	28
Abbildung 6: Kumulierte LCA Ergebnisse Primärenergiebedarf total und Treibhauspotenzial für alle Haustechnikvarianten	28
Abbildung 7: Kumulierte LCA Ergebnisse Versäuerungspotenzial total und Ozonzerstörungspotenzial für alle Haustechnikvarianten	29
Abbildung 8: Kumulierte LCA Ergebnisse Potenzial für Bildung troposphärischen Ozons und Eutrophierungspotenzial für alle Haustechnikvarianten	29
Abbildung 9: Vergleich des Versäuerungspotenzials (AP) und des Eutrophierungspotenzials (EP) der Ziegel-Gebäudevarianten	31
Abbildung 10: Vergleich des Treibhauspotenzials (GWP) und des Ozonabbaupotenzials (ODP) der Ziegel-Gebäudevarianten ⁴	31
Abbildung 11: Vergleich des Potenzials zur Bildung von Photooxidantien (POCP) und der gesamte Primärenergieverbrauch (CED complete) der Ziegel-Gebäudevarianten	32
Abbildung 12: Vergleich des Primärenergieverbrauchs nicht erneuerbar (CEN non r.) und erneuerbar (CED r.) der Ziegel-Gebäudevarianten	33
Abbildung 13: Versauerungspotenzial (AP) und Eutrophierungspotenzial (EP) aller Haustechnikvarianten in Betonbauweise	34
Abbildung 14: Treibhausgaspotenzial (GWP) und Ozonabbaupotenzial (ODP) aller Haustechnikvarianten in Betonbauweise	35
Abbildung 15: Potenzial zur Bildung von Photooxidantien (POCP) und Primärenergiebedarf gesamt aller Haustechnikvarianten in Betonbauweise	35
Abbildung 16: Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (CED non r.) und erneuerbar (CED r.) aller Haustechnikvarianten in Betonbauweise	36
Abbildung 17: Gesamtvergleich aller Ökoindikatoren der Gebäudevarianten in Betonbauweise ⁹	36
Abbildung 18: Gesamtvergleich des Versäuerungspotenzials und des Eutrophierungspotenzials der Holzspanbetonvariante	37
Abbildung 19: Gesamtvergleich des Versäuerungspotenzials und des Eutrophierungspotenzials der Holzspanbetonvarianten	38
Abbildung 20: Gesamtvergleich des Potenzials zur Bildung von Photooxidantien (POCP) und der gesamten Primärenergieverbrauchs (CED complete) der Holzspanbetonvarianten	38
Abbildung 21: Gesamtvergleich des Primärenergieverbrauchs nicht erneuerbar und erneuerbar der Holzspanbetonvarianten	39
Abbildung 22: Vergleich der bilanzierten Indikatoren über den Lebenszyklus der Holzbauvarianten (ohne Haustechnik und Betriebsenergieverbrauch)	41
Abbildung 23: Vergleich der analysierten Indikatoren über den Lebenszyklus für ein Gebäude in Holzrahmenbauweise und in Holzmassivbauweise im Niedrigenergiestandard	41

Abbildung 24: Treibhauspotenzial (GWP), Kohlenstoffgehalt und Einsparungen außerhalb des Lebenszyklus (Modul D) der Holzbauvarianten	42
Abbildung 25: Vergleich der analysierten Indikatoren über den Lebenszyklus für die Verwendung von Mineralwolle- und Zellulosedämmung im Niedrigenergiehaus in Holzrahmenbauweise	43
Abbildung 26: Vergleich der bilanzierten Lebenszyklusphasen mit einem erweiterten Lebenszyklus (inkl. Phase A4 und A5) am Beispiel des Niedrigenergiegebäudes in Holzrahmenbauweise mit Mineralwollendämmung	44
Abbildung 27: Vergleich der analysierten Indikatoren über den Lebenszyklus der Gebäude in Holzrahmenbauweise (Gebäudehülle, Haustechnik und Energieeinsatz während der Nutzung)	45
Abbildung 28: Qualitativer Verlauf des Carbonatisierungsfortschritts in Beton	47
Abbildung 29: Vergleich des Versäuerungspotenzials und des Eutrophierungspotenzials aller Gesamtgebäudevarianten	51
Abbildung 30: Vergleich des Treibhauspotenzials und der Potenzials zum Abbau der stratosphärischen Ozonschicht aller Gesamtgebäudevarianten	52
Abbildung 31: Vergleich des Ozonbildungspotenzials und des Gesamtprimärenergiebedarfes aller Gesamtgebäudevarianten	53
Abbildung 32: Vergleich des Primärenergiebedarfes erneuerbar und nicht erneuerbar aller Gesamtgebäudevarianten	54
Abbildung 33: Lebensphasen von Gebäuden gemäß ÖNORM EN 15978	57
Abbildung 34: Auszug aus Software SimaPro mit Datengrundlage Ecoinvent V2.2	58
Abbildung 35: Auszug aus Software Ecosoft mit Datengrundlage IBO Referenzdatenbank	58
Abbildung 36: Vergleich des Treibhauspotenzials und Versäuerungspotenzials berechnet mit Ecoinvent und Ecosoft einer Ziegelaußenwand pro m Wandfläche (ENTSO-E Strommix)	60
Abbildung 37: Vergleich des Treibhauspotenzials und Versäuerungspotenzials berechnet mit Ecoinvent und Ecosoft einer Holzrahmenaußenwand pro m Wandfläche (UCTE Strommix)	60
Abbildung 38: Vergleich des Treibhauspotenzials und Versäuerungspotenzials berechnet mit Ecoinvent und Ecosoft einer Stahlbetondecke pro m Deckenfläche (UCTE Strommix)	61
Abbildung 39: Vergleich des Treibhauspotenzials und Versäuerungspotenzials – Ecoinvent (mit ENTSO-E- und österreichischem Strommix – ecoinvent AT) und Ecosoft (mit ENTSO-E-Mix) Berechnungen einer Ziegelaußenwand pro m Wandfläche	62
Abbildung 40: klima:aktiv Kriterien und ihre Gewichtung für den Katalog Wohngebäude Neubau	65
Abbildung 41: Untergruppen des Total Quality Building 2010 Standards und ihre Gewichtung im Katalog für Neubau Wohngebäude	66
Abbildung 42: Kriteriengewichtung in der DGNB/ÖGNB-Zertifizierung	67
Abbildung 43: Bewertungskriterien für Neubau Wohngebäude 2012 der DGNB/ÖGNB-Zertifizierung	68
Abbildung 44: Kriterienkatalog des IBO Ökopass	69
Abbildung 45: Gegenüberstellung der ÖGNB/TQB Bewertung zum klima:aktiv Haus	70
Abbildung 46: Gegenüberstellung der Gesamtbarwerte in Euro, Bilanzierungszeitraum 50 a	72
Abbildung 47: Gegenüberstellung der Gesamtbarwerte in Euro pro m ² Bruttogeschoßfläche und pro m ² Nettogeschoßfläche, Bilanzierungszeitraum 50 a	73
Abbildung 48: Gegenüberstellung der Barwerte für Herstellung A1-A3 und Nutzung B6 in Euro, Bilanzierungszeitraum 50 a	75

7.5 Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Leistungsmatrix der sechs Haustechnikvarianten</i>	13
<i>Tabelle 2: Übersicht über die bilanzierten Gebäudevarianten</i>	14
<i>Tabelle 3: Lebenszyklusphasen nach ÖNORM EN 15978</i>	18
<i>Tabelle 4: Module der Ökobilanzierung (LCA) der Elektro- und Sanitärausstattung</i>	23
<i>Tabelle 5: Gegenüberstellung der Energiebedarfe der Wärmepumpen-Variante NEH1 bei unterschiedlichen Jahresarbeitszahlen (JAZ)</i>	30
<i>Tabelle 6: Abschätzung von Gutschriften außerhalb des Lebenszyklus (Modul D) für ein Niedrigenergiehaus aus Beton</i>	48
<i>Tabelle 7: Kriterienkatalog des IBO Ökopass</i>	70

7.6 Abkürzungsverzeichnis

AP	Potenzial in Bezug auf die Versauerung von Boden und Wasser (Acidification Potenzial of land and water)
BGF	Bruttogrundfläche
EPD	Umweltproduktdeklaration (Environmental Product Declaration)
GWP	Treibhauspotenzial (Global Warming Potenzial)
LCA	Ökobilanz (Life Cycle Assessment)
LCC	Lebenszykluskosten (Life Cycle Costing)
LCI	Lebenszyklusinventur (Life Cycle Inventory)
LCIA	Bewertung der Lebenszyklusauswirkungen (Life Cycle Impact Assessment)
NRF	Nettoraumfläche
ODP	Potenzial in Bezug auf die Zerstörung der stratosphärischen Ozonschicht (Depletion Potenzial of stratospheric Ozone layer)
POCP	Potenzial zur Bildung von bodennahem Ozon, ausgedrückt als fotochemisches Oxidans (Formation Potenzial of tropospheric Ozone Photochemical oxidants)
CED non ren	Primärenergie nicht erneuerbar, rohstofflich und energetisch genutzte Ressourcen
CED ren	Primärenergie erneuerbar, rohstofflich und energetisch genutzte Ressourcen
CED tot	Primärenergie nicht erneuerbar plus erneuerbar
NEH1	Niedrigenergiehaus + Wärmepumpe
NEH2	Niedrigenergiehaus + Pelletsheizung
PEH	Plusenergiehaus
PH1	Passivhaus + Wärmepumpe
PH2	Passivhaus + Pelletsheizung
SH	Sonnenhaus

7.7 Begriffsdefinitionen

Abfall: Stoff oder Gegenstand, von dem sich der Besitzer entledigt oder beabsichtigt oder gesetzlich gezwungen ist, sich zu entledigen (ÖNORM EN 15643-4)

Aufgabenstellung: schriftlich abgefasstes Dokument im Sinne eines Lastenheftes, in dem die Anforderungen des Auftraggebers an ein Bauprojekt festgelegt sind (ÖNORM EN 15643-4)

Auftraggeber: Person oder Organisation, die die Bereitstellung, Änderung oder Erweiterung eines Gebäudes anfordert und die Erstellung und Bewilligung der Aufgabenstellung im Sinne eines Lastenheftes verantwortet (ÖNORM EN 15643-4)

Bauprodukt: Ware, die hergestellt oder bearbeitet / veredelt wurde, um in ein Bauwerk eingefügt zu werden (ÖNORM EN 15978)

Baustelle: festgelegtes Grundstück, auf dem sich ein Gebäude befindet oder befinden soll und auf dem Bauarbeiten für das betreffende Gebäude und dazugehörige externe Arbeiten bereits stattfinden oder stattfinden werden (ÖNORM EN 15978)

Bautätigkeit: Aktivitäten zur Erstellung eines Bauwerkes (ÖNORM EN 15978)

Bauwerk: alles was gebaut ist oder aus baulicher Tätigkeit resultiert (ÖNORM EN 15978)

Beseitigung: Behandlung von Abfällen, die nicht der Rückgewinnung dient (ÖNORM 15643-4)

Betrachtungszeitraum: Zeitraum, über den die zeitabhängigen Eigenschaften des Bewertungsgegenstandes analysiert werden (ÖNORM EN 15978)

Bruttogrundfläche: Die Brutto-Grundfläche BGF gemäß ÖNORM EN 15221-6:2011 entspricht der ehemaligen Brutto-Grundfläche BGF gemäß ÖNORM B 1800:2002

CML – Methode 2001: Methode zur Charakterisierung von Umweltwirkungen (siehe ecoinvent Reports/01 Overview and Methodology, 2007) (Frischknecht 2007)

Daten: Zusammenfassung von Informationen

Datenbank: System für die Verwaltung von Daten

Ecoinvent V2.2: Life Cycle Inventory (LCI) Datenbank (Sachbilanzdatenbank); Herausgeber: Swiss Centre for Life Cycle Inventories; Link: <http://www.ecoinvent.ch>, Stand 21.11.2013 (Frischknecht 2007)

Energieeinsatz für den Gebäudebetrieb: Energieeinsatz der Gebäudetechnik während der Nutzung und des Betriebs des Gebäudes (ÖNORM EN 15978)

Erneuerbare Ressource: Ressource, die angebaut oder in menschlichem Zeithorizont auf natürliche Weise erneuert oder gereinigt wird (ÖNORM EN 15978)

Fläche: numerischer Wert einer zweidimensionalen Fläche, meist berechnet als das Produkt aus zwei Abstandsmaßen (ÖNORM EN 15221-6)

Funktionale Anforderung: Art und Grad der Funktionalität eines Bauwerks oder zusammengesetzten Bauteils, die vom Bauherrn und/oder von den Nutzern und/oder vom Gesetzgeber gefordert werden (ÖNORM EN 15978)

Funktionales Äquivalent: quantifizierte funktionale Anforderungen und/oder technische Anforderungen an ein Gebäude oder ein zusammengesetztes Bauteil (Bauwerksteil), die als Grundlage für Vergleiche dient (ÖNORM EN 15978)

Funktionale Qualität: Qualität in Bezug auf die Funktionalität eines Bauwerks oder eines zusammengesetzten Bauteils (Bauwerksteils), die vom Bauherrn und/oder von den Nutzern und/oder vom Gesetzgeber gefordert wird (ÖNORM EN 15978)

Funktionalität: Eignung oder Nützlichkeit hinsichtlich eines bestimmten Zwecks oder einer bestimmten Aktivität (ÖNORM EN 15978)

Gebäude: Konstruktion, zu deren Hauptzweck u. a. gehört, als Schutzvorrichtung für Bewohner oder Inhalte zu dienen, gewöhnlich von geschlossener Bauart und entwickelt, um dauerhaft an einem Standort zu verbleiben (ÖNORM EN 15978)

Gebäudetechnik: technische Einrichtungen zum Heizen, Kühlen, Be- und Entlüften, für die Warmwasserbereitung und/oder Beleuchtung und/oder für beliebige Kombinationen von diesen (ÖNORM EN 15978)

Geforderte Nutzungsdauer: Nutzungsdauer, die vom Auftraggeber oder vom Gesetzgeber gefordert ist (ÖNORM EN 15978)

Geplante Nutzungsdauer: vom Planer vorgesehene Nutzungsdauer (ÖNORM EN 15643-4)

Gliederung: Ordnungsstruktur, nach der ein Gesamtes unterteilt wird (ÖNORM B 1801-1)

Grundstück: festgelegte Grundstücksfläche, auf der sich ein Gebäude befindet oder erstellt werden soll und auf der Bautätigkeiten und mit dem Gebäude in Zusammenhang stehende Arbeiten an Außenanlagen stattfinden (ÖNORM EN 15643-4)

Indikator: quantifizierbarer Wert in Bezug auf Umweltauswirkungen/-aspekte (ÖNORM EN 15978)

Instandhaltung: Kombination aller technischen und damit verbundenen administrativen Maßnahmen, die während der Nutzungsdauer eines Gebäudes oder zusammengesetzten Bauteils (Bauwerksteils) dazu dienen, den Zustand zu erhalten, in dem es die von ihm geforderten Funktionen erfüllen kann (ÖNORM EN 15978)

Kapitalwert: Gesamtsumme der (abdiskontierten) Auszahlungen (Kosten) und Einzahlungen (Einnahmen / Erträge) im Zusammenhang mit den ökonomischen Aspekten, die in Geldeinheiten angegeben wird (ÖNORM EN 15643-4)

Komponente: Bauprodukt, als selbstständige Einheit hergestellt, um einer oder mehreren bestimmten Funktion(en) zu dienen (ÖNORM EN 15978)

Lebenszyklus: alle aufeinander folgenden und miteinander verbundenen Phasen im Leben des betrachteten Gegenstandes (ÖNORM EN 15978)

Lebenszykluskosten (LCC): Kosten, die durch ein Gebäude oder Bauwerksteil über dessen gesamten Lebenszyklus durch die Erfüllung der technischen Anforderungen und der funktionalen Anforderungen entstehen (ÖNORM EN 15643-4)

Nachhaltigkeit: Fähigkeit eines Systems, für gegenwärtige und zukünftige Generationen erhaltbar zu sein (ÖNORM EN 15643-4)

Nettoraumfläche: Die Netto-Raumfläche NRF gemäß ÖNORM EN 15221-6:2011 entspricht der ehemaligen Netto- Grundfläche NGF gemäß ÖNORM B 1800:2002

Nutzer: Person oder Organisation, für die ein Gebäude entworfen ist (einschließlich Gebäudebesitzer, -manager und Bewohner) (ÖNORM EN 15978)

Nutzungsbedingung: Umstand, der sich bei üblicher Nutzung auf die Qualität eines Gebäudes oder zusammengesetzten Bauteils (Bauwerksteils) auswirken kann (ÖNORM EN 15643-4)

Nutzungsdauer: Zeitspanne nach der Inbetriebnahme, während der ein Gebäude oder ein zusammengesetztes Bauteil (Bauwerksteil) die technischen Anforderungen und die funktionalen Anforderungen erfüllt oder übertrifft (ÖNORM EN 15978)

Ökobilanz (LCA): Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse und der potenziellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf seines Lebenszyklus (ÖNORM EN 15978)

Ökonomischer Aspekt: Eigenschaften von Bauwerken, Bauwerksteilen, Abläufen oder Dienstleistungen, die im Verlauf ihres Lebenszyklus eine Veränderung von ökonomischen Bedingungen herbeiführen können (ÖNORM EN 15643-4)

Ökonomische Auswirkung: jede Änderung der ökonomischen Bedingungen, unabhängig davon, ob sie schädlich oder günstig ist, und die ganz oder teilweise durch ökonomische Aspekte verursacht wird (ÖNORM EN 15643-4)

Ökonomische Qualität: Qualität in Bezug auf ökonomische Auswirkungen und ökonomische Aspekte (ÖNORM EN 15643-4)

Planung: Ermittlung, Vorgabe und Festlegung von Daten und Informationen (ÖNORM B1801-1)

Qualität: Größe, die das Ausmaß eines bestimmten Aspektes des betrachteten Gegenstandes zu festgelegten Anforderungen, Richtwerten und/oder Zielgrößen in Bezug setzt (ÖNORM EN 15643-4)

Recycling: jeder Rückgewinnungsprozess, durch den Materialien aufbereitet und in Produkte, Materialien oder Stoffe für die ursprüngliche oder eine andere Nutzung umgewandelt werden (ÖNORM EN 15978)

Rückgewinnung: Behandlung von Abfall, die den Zweck hat, andere Ressourcen zu ersetzen oder Abfall für diesen Zweck auf- zubereiten (ÖNORM EN 15978)

Sachbilanz (LCI): Bestandteil der Ökobilanz, der die Zusammenstellung und Quantifizierung von Inputs und Outputs eines gegebenen Produktsystems im Verlauf seines Lebenszyklus umfasst (ÖNORM EN 15978)

System: Gesamtheit von Bestandteilen, die in funktionalen Beziehungen zueinander stehen und auf Einwirkungen von außerhalb des Systems reagieren (kybernetische Systeme) (ÖNORM B1801-1)

Systemgrenze: Schnittstelle in der Bewertung zwischen einem Gebäude und der Umwelt oder weiteren Produktsystemen (ÖNORM EN 15978)

Szenario: Sammlung von Annahmen und Informationen zu einer erwarteten Abfolge möglicher zukünftiger Ereignisse (ÖNORM EN 15978)

Technische Anforderung: Art und Maß der technischen Eigenschaften eines Bauwerks oder eines zusammengesetzten Bauteils (Bauwerksteils) , die gefordert sind und/oder eine Folge der vom Bauherrn und/oder von den Nutzern und/oder vom Gesetzgeber gestellten Anforderungen sind (ÖNORM EN 15978)

Technische Qualität: Qualität hinsichtlich der Fähigkeit eines Bauwerks oder eines zusammengesetzten Bauteils (Bauwerksteils), die geforderten Funktionen unter den vorgesehenen Nutzungsbedingungen zu erfüllen (ÖNORM EN 15978)

Transparenz: offene, umfassende und verständliche Informationen und Darstellung (ÖNORM EN 15978)

Umweltaspekt: Aspekt von Bauwerken, zusammengesetzten Bauteilen bzw. Bauwerksteilen, Prozessen oder Dienstleistungen, die im Verlauf ihres Lebenszyklus eine Veränderung der Umwelt herbeiführen können (ÖNORM EN 15978)

Umweltauswirkung: Veränderung der Umwelt, unabhängig davon, ob sie sich günstig oder schädlich auswirkt, die ganz oder teilweise von Umweltaspekten herrührt (ÖNORM EN 15978)

Umweltbezogene Qualität: Qualität hinsichtlich der Umweltauswirkungen und Umweltaspekte (ÖNORM EN 15978)

Übergabe: Handlung, in welcher der Besitz des fertig gestellten Bauwerks mit oder ohne Vorbehalt an den Auftraggeber übergeht (ÖNORM EN 15643-4)

Voraussichtliche Nutzungsdauer: Nutzungsdauer, die sich für ein Gebäude oder ein zusammengesetztes Bauteil (Bauwerksteil) unter einer Reihe von festgelegten Nutzungsbedingungen erwarten lässt und aus den für die Nutzungsdauer geltenden Referenzdaten unter Berücksichtigung aller Abweichungen von den Referenznutzungsbedingungen ermittelt wurde (ÖNORM EN 15978)

Vorgesehene Lebensdauer: vom Planer vorgesehene Nutzungsdauer (ÖNORM EN 15978)

Wassereinsatz für den Gebäudebetrieb: Wassernutzung durch die Gebäudetechnik oder die Nutzer, die technisch und hinsichtlich der definierten Gebäudefunktion für den Betrieb des Gebäudes erforderlich ist (ÖNORM EN 15978)

Wiederverwendung: jeder Arbeitsgang, durch den Produkte oder Komponenten, die nicht als Abfall gelten, entweder erneut für den Zweck, für den sie ursprünglich entwickelt wurden, oder aber ohne Wiederaufbereitung für andere Zwecke verwendet werden (ÖNORM EN 15978)

Wirkungsabschätzung (LCIA): Bestandteil der Ökobilanz, der dem Verständnis und der Bewertung des Ausmaßes und der Bedeutung der potenziellen Umweltauswirkungen eines Produktsystems über den Lebenszyklus des Produktes dient (ÖNORM EN 15643-4)

Zusammengesetztes Bauteil (Bauwerksteil): eine oder mehrere in das Bauwerk eingefügte Komponente(n) (ÖNORM EN 15978)

7.8 Kurzbeschreibung der Umweltindikatoren der Ökobilanz (LCA)

Primärenergieinhalt (PEI)

Als Primärenergieinhalt wird der zur Herstellung eines Produktes oder einer Dienstleistung erforderliche Gesamtbedarf an energetischen Ressourcen bezeichnet. In der vorliegenden Untersuchung wird der Primärenergieinhalt aller nicht erneuerbaren und erneuerbaren Ressourcen getrennt angeführt. Er enthält sowohl die energetisch als auch die stofflich genutzten Ressourcen.

Der Primärenergieinhalt wird aus dem unteren Heizwert aller eingesetzten energiehaltigen Ressourcen berechnet und in MJ angegeben.

Treibhauspotenzial (GWP = Global Warming Potenzial)

Das Treibhauspotenzial beschreibt den Beitrag eines Spurengases zur globalen Erwärmung relativ zu Kohlendioxid. In der vorliegenden Untersuchung wird das Treibhauspotenzial für den Zeithorizont von 100 Jahren bestimmt.

Das Treibhauspotenzial (GWP100a) wird in kg-CO₂-Äquivalenten angegeben.

Versauerungspotenzial von Boden und Wasser (AP)

Versauerung wird hauptsächlich durch die Wechselwirkung von Stickoxid- (NO_x) und Schwefeldioxidgasen (SO₂) mit anderen Bestandteilen der Luft verursacht. Zu den eindeutig zugeordneten Folgen zählt die Versauerung von Seen und Gewässern, welche zu einer Dezimierung der Fischbestände in Zahl und Vielfalt führt. Für die Berechnung des Versauerungspotenzials werden die durchschnittlichen „Europäischen Säurebildungspotenziale“ verwendet. Das Versauerungspotenzial wird in kg-SO₂-Äquivalenten dargestellt.

Photooxidantien-Bildungspotenzial (POCP)

Photosmog in Städten und ihrer näheren Umgebung wird durch die Bildung von Photooxidantien in der unteren Troposphäre verursacht. Darunter wird jene Mischung aus, reaktionsfreudigen Gasen verstanden, die sich bildet, wenn Sonnenstrahlung auf anthropogene Emissionen (insbesondere Stickstoffoxidverbindungen und Kohlenwasserstoffe) trifft.

Das Photooxidantien-Bildungspotenzial wird als Ethen-Äquivalent (kg C₂H₄ eq.) angegeben.

Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht (ODP)

Die Ausdünnung der stratosphärischen Ozonschicht wird durch die Katalysatorwirkung von Halogenen unter speziellen klimatischen Bedingungen verursacht. Die dadurch vermehrt zur Erdoberfläche durchdringende ultraviolette Strahlung fördert die Bildung von Hautkrebs und grauem Star.

Das Ozonabbaupotenzial wird in kg R11-Äquivalenten angegeben.

Eutrophierung (EP)

Eutrophierung ist die Übersättigung eines Ökosystems mit essentiellen nicht organischen Nährstoffen wie Stickstoff- und Phosphorverbindungen, die normalerweise nur in geringen Konzentrationen vorhanden sind. Dies führt in Gewässern zu vermehrter Produktion von Algen und Wasserpflanzen und in der Folge zu einer Verschiebung der Artenvielfalt des Ökosystems.

Das Eutrophierungspotenzial des Nährstoffeintrages wird in Phosphat-Äquivalenten (kg PO₄³⁻ eq) angegeben.