

28.05.2015

Innovative Gebäudekonzepte im ökonomischen und ökologischen Vergleich über den gesamten Lebenszyklus

Petra Johanna Sölkner
Sebastian Spaun

Inhalt

1. Was ist die ACR?
2. Die Projektbeteiligten
3. Projektinhalt & Methodik
4. Ergebnisse
5. Zusammenfassung und Fazit

Was ist die ACR?



- Netzwerk von 19 kooperativen, gemeinnützigen Forschungsinstituten in sechs Bundesländern
- Gründung 1954
- Ziel: Innovationen fördern & Wettbewerbsfähigkeit österr. KMU sichern
- Ca. 500 größere F&E-Projekte jährlich
- Rund 18.000 Aufträge von/für KMU (gesamt 25.000 Aufträge p.a.)



Leistungsspektrum der ACR-Institute

Schwerpunkte

-  Nachhaltiges Bauen
-  Umwelttechnik & Erneuerbare Energie
-  Lebensmittel-qualität & Sicherheit
-  Produkte, Prozesse, Werkstoffe
-  Innovation & Wettbewerbsfähigkeit

Dienstleistungen

-  Angewandte F&E
-  Technologietransfer
-  Projektmanagement bei F&E-Projekten
-  Hochwertiges Prüfen & Messen
-  Förderberatung
-  Zertifizierung & Audits
-  Gutachten & Sachverständigentätigkeit
-  Schulungen, Fachseminare

Die Projektpartner



BTI Bautechnisches Institut Linz



BVFS Bautechnische Versuchs- und Forschungsanstalt Salzburg



FGW Forschungsgesellschaft für Wohnen, Bauen, Planen



HFA Holzforschung Austria



OFI Österreichisches Forschungsinstitut für Chemie und Technik



VÖZ Vereinigung der österr. Zementindustrie

Weitere Projektbeteiligte



IBO Österreichisches Institut für Baubiologie und Bauökologie



TU Graz / Institut für Materialprüfung & Baustofftechnologie



PORR Porr AG

Projekthalt (1) Das Modellgebäude

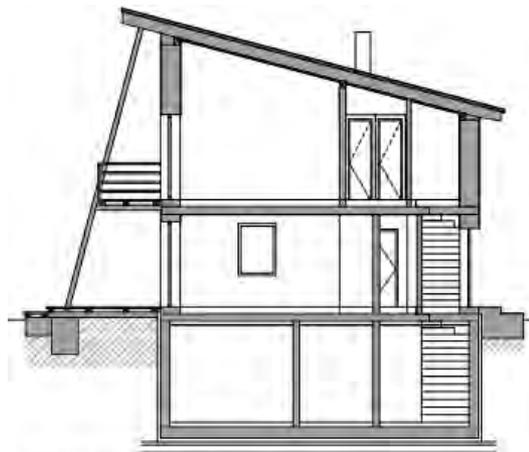
Vergleich eines virtuellen **Einfamilienhauses**

Unterschiedliche Ausführung

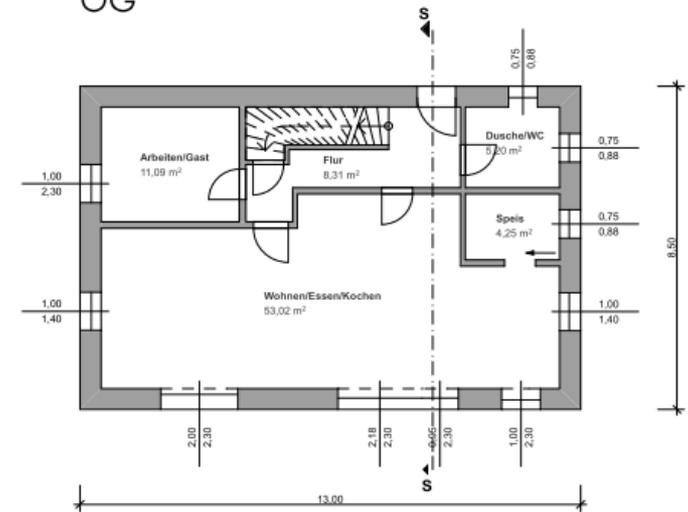
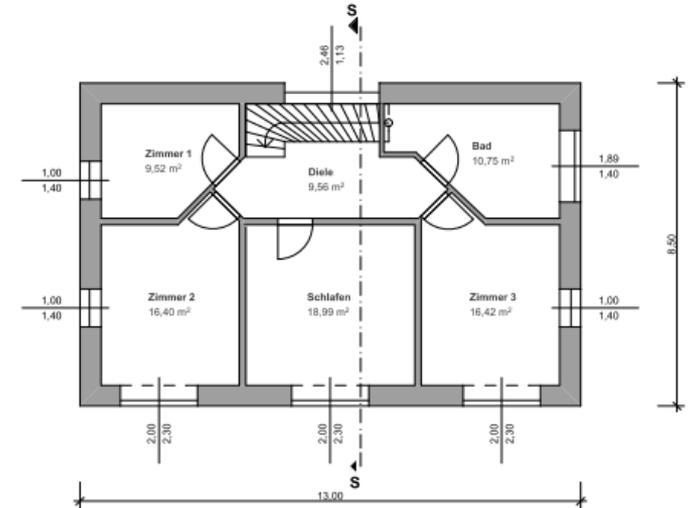
45 Gebäudevarianten

1. Ökologische Auswirkungen
2. Ökonomische Situation

Über den **gesamten Lebenszyklus**



SCHNITT S-S



Projekthalt (2) Gebäudevarianten

Baustoffe/Bauweisen

- Ziegel mit Vollwärmeschutz
- Ziegel einschalig
- Holzspanbeton mit Vollwärmeschutz mit 2 versch. Dämmmaterialien
- Holzspanbeton einschalig
- Beton mit Vollwärmeschutz
- Holzrahmen mit Zellulosedämmung
- Holzrahmen mit Mineralwollgedämmung
- Holz massiv mit Mineralwollgedämmung

Energiestandards

HWB_{ref} 40 kWh/m²a

- Niedrigenergiehaus **NEH**
- Sonnenhaus **SH**

HWB_{ref} 10 kWh/m²a

- Passivhaus **PH**
- Plusenergiehaus **PEH**

Haustechnikstandards

- **NEH 1** mit Wärmepumpe
- NEH 2 mit Pelletsheizung
- SH mit Solaranlage + Stückholzofen
- **PH 1** mit Wärmepumpe
- PH 2 mit Pelletsheizung
- **PEH** mit WP, Solarthermie, PV

Projekthalt (3) 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

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

Für die Variante 38 wurde keine LCC erstellt.

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 + Mineralwollämmung + Wärmepumpe	PEH
49	4.4.2.	H-E-M-0	Holzsteher + Mineralwollämmung + Wärmepumpe	PEH

Projekthalt (5)

Die Bilanzen

Ökobilanz (LCA)

- Bilanzzeitraum 100 Jahre
- **Ecoinvent** Massivbauweisen TU Graz
- **EcoSoft** Holzbauweisen HFA

Lebenszykluskostenbilanzierung (LCC)

- Herstellungsphase
- Nutzungsphase
- Gesamtbarwert über 50 Jahre
- Zinssatz für Barwertberechnung 5 %

Ökoindikatoren für die Ökobilanz (LCA)

AP	Versauerungspotenzial von Boden und Wasser [kg SO _{2 eq} /m ² a]
EP	Eutrophierungspotenzial [PO _{4 eq} /m ² a]
ODP	Potenzial zum Abbau der stratosphärischen Ozonschicht [kg CFC-11 _{eq} /m ² a]
POCP	Potenzial zur Bildung von troposphärischem Ozon [kg C ₂ H _{4 eq} /m ² a]
GWP	Treibhauspotenzial [kg CO _{2 eq} /m ² a]
CED non ren	Einsatz nicht erneuerbarer Primärenergie, rohstofflich und energetisch genutzte Ressourcen [MJ/m ² a]
CED ren	Einsatz erneuerbarer Primärenergie, rohstofflich und energetisch genutzte Ressourcen [MJ/m ² a]

Methodik

Ökobilanz LCA

Angaben zum Lebenszyklus des Gebäudes															
A 1-3 Herstellungphase			A 4-5 Errichtungsphase		B 1-7 Nutzungsphase					C 1-4 Phase am Ende des Lebenszyklus					
A1 Rohstoffbeschaffung	A2 Transport	A3 Produktion	A4 Transport	A5 Errichtung/Einbau	B1 Nutzung	B2 Instandhaltung	B3 Instandsetzung	B4 Austausch	B5 Modernisierung	B6 Energieverbrauch im Betrieb	B7 Wasserverbrauch	C1 Rückbau/Abriss	C2 Transport	C3 Abfallverwertung	C4 Entsorgung

(Quelle: nach ÖNORM EN 15978)

Gebäudebewertung



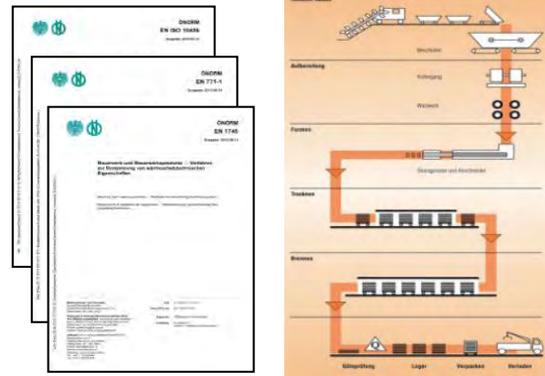
Berechnungsregeln, Normen



Produktkategorieeregeln (PKR)



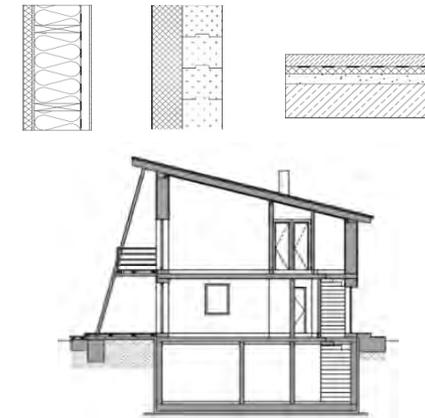
Berechnung der Produkte



Umweltproduktdeklarationen (EPD)



Alle Baustoffe und Bauteile



Gebäudezertifikate



Dieses Gebäude wurde im klima:aktiv GOLD Standard errichtet.

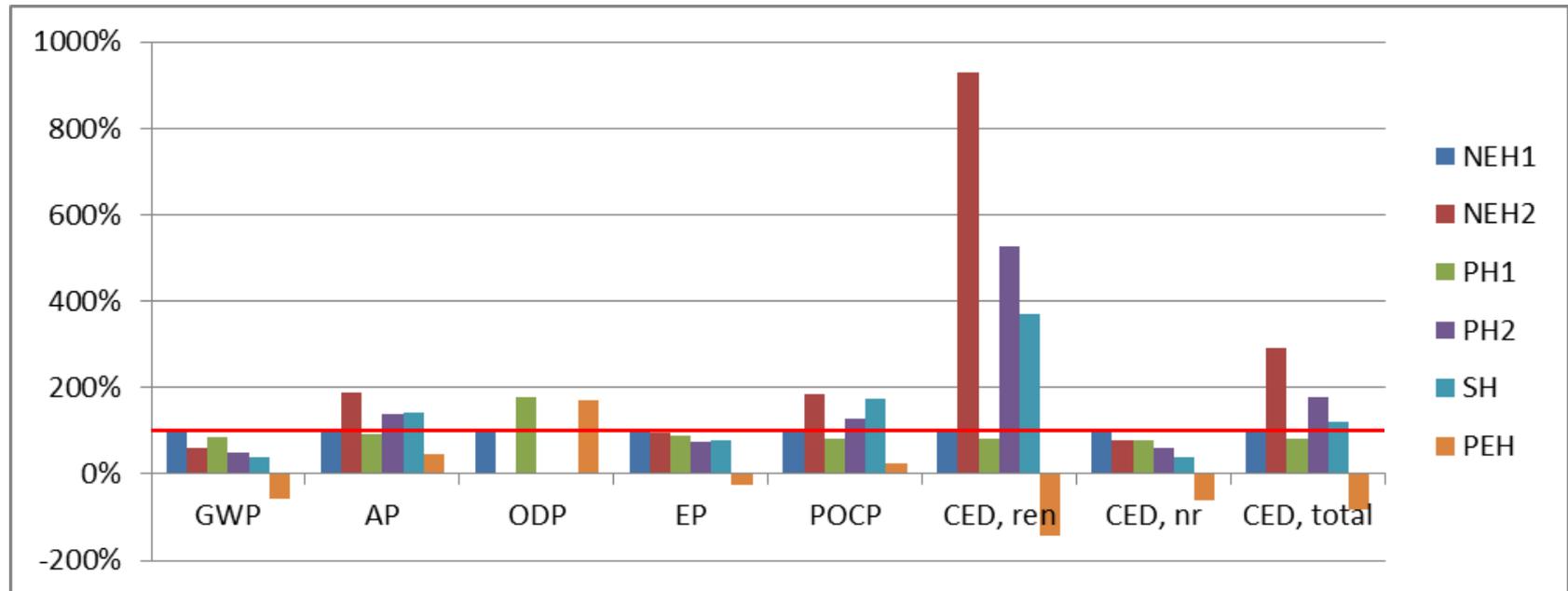
Ergebnisse (1.1) LCA Haustechnik

Vergleich aller HT-Varianten

- Module A1-A3, B4, B6, C3-C4 kumuliert
- Relative Werte
- NEH1 = 100 %

Haustechnikstandards

- NEH 1 mit Wärmepumpe
- NEH 2 mit Pelletsheizung
- SH mit Solaranlage + Stückholzofen
- PH 1 mit Wärmepumpe
- PH 2 mit Pelletsheizung
- PEH mit WP, Solarthermie, PV



Ergebnisse (1.2)

LCA Haustechnik

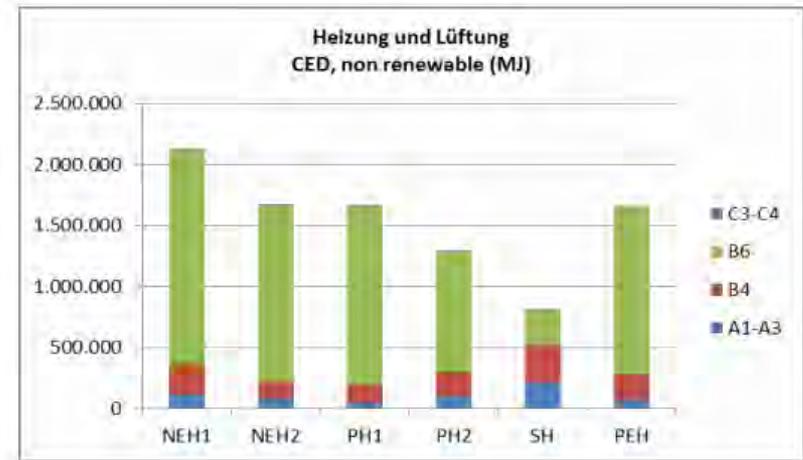
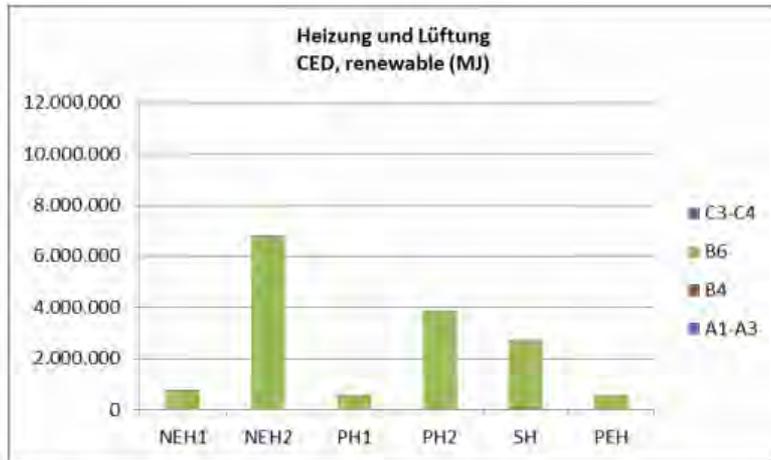


Abbildung 5: Kumulierte LCA Ergebnisse Primärenergiebedarf erneuerbar und nicht erneuerbar für alle Haustechnikvarianten

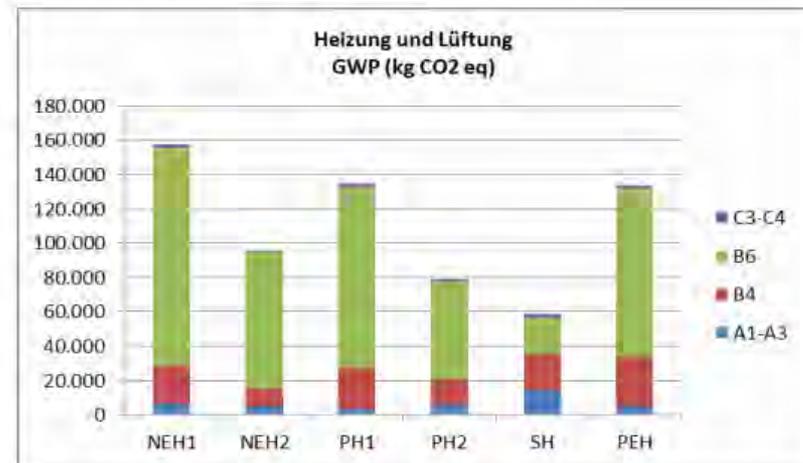
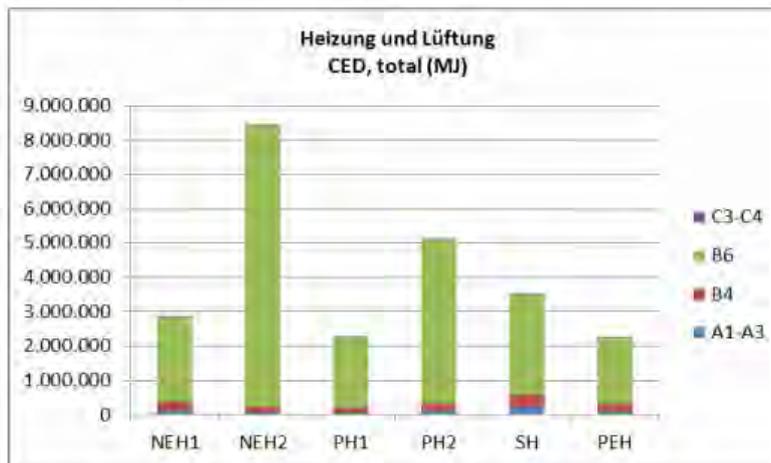


Abbildung 6: Kumulierte LCA Ergebnisse Primärenergiebedarf total und Treibhauspotential für alle Haustechnikvarianten

Ergebnisse (1.3)

LCA Haustechnik

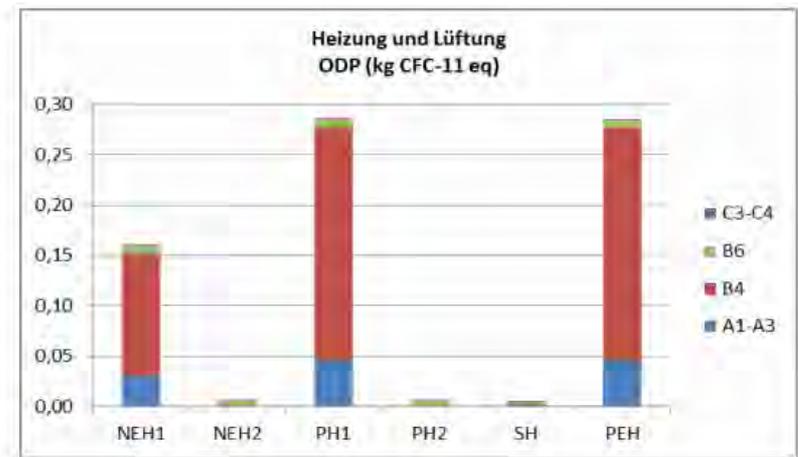
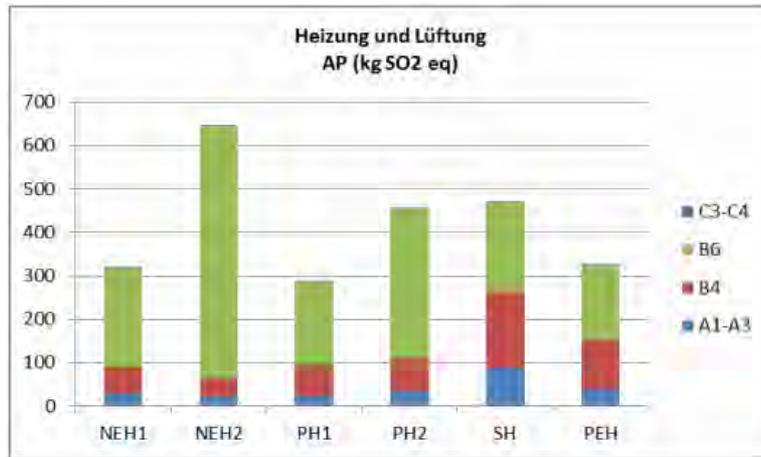


Abbildung 7: Kumulierte LCA Ergebnisse Versäuerungspotential total und Ozonzerstörungspotential für alle Haustechnikvarianten

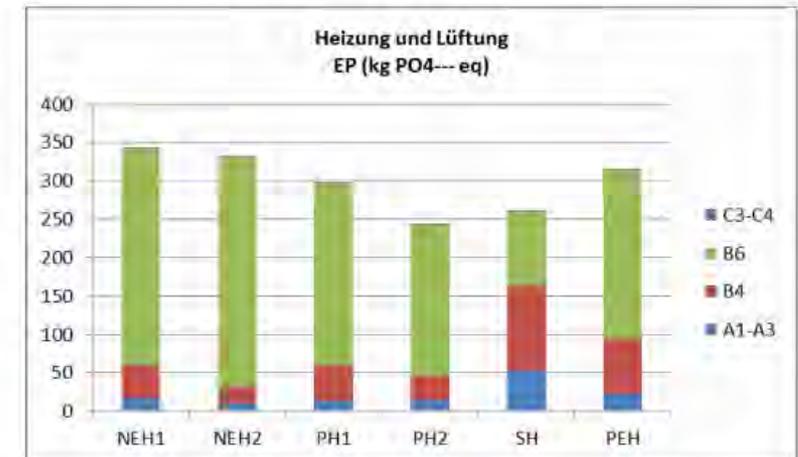
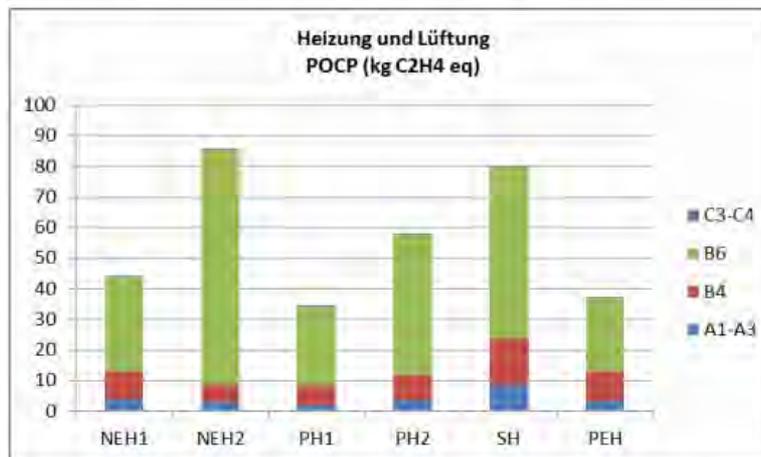


Abbildung 8: Kumulierte LCA Ergebnisse Potential für Bildung troposphärischen Ozons und Eutrophierungspotential für alle Haustechnikvarianten

Ergebnisse (2.1)

Ökobilanz LCA

Ziegel-Gebäudevarianten

- Relative Werte
- Var. 1.1.1 = 100 %
 - Ziegelbauweise mit WDVS
 - Haustechnik NEH 2
 - Mit Pelletsheizung
- AP ... Versäuerungspotential
- EP ... Eutrophierungspotential

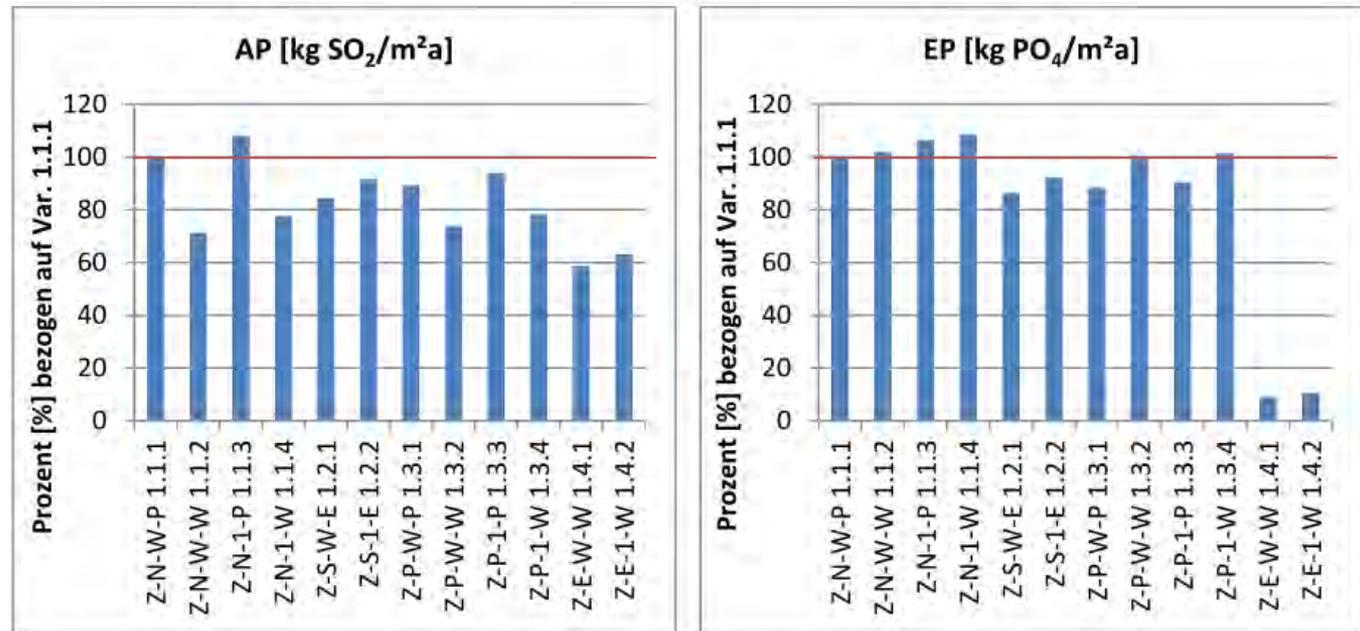


Abbildung 9: Vergleich des Versäuerungspotentials (AP) und des Eutrophierungspotentials (EP) der Ziegel-Gebäudevarianten

Ergebnisse (2.2)

Ökobilanz LCA

Ziegel-Gebäudevarianten

- Relative Werte
- Var. 1.1.1 = 100 %
 - Ziegelbauweise mit WDVS
 - Haustechnik NEH 2
 - Mit Pelletsheizung
- GWP ... Treibhauspotential
- ODP ... Ozonabbaupotential

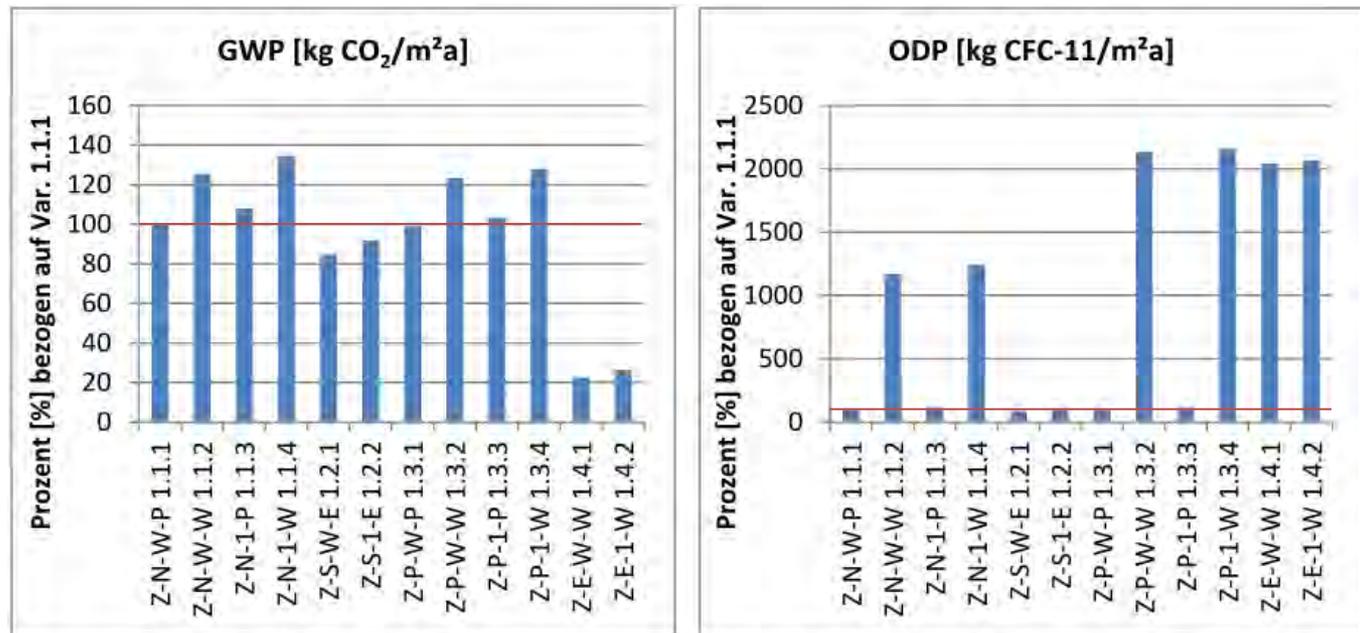


Abbildung 10: Vergleich des Treibhauspotentials (GWP) und des Ozonabbaupotentials (ODP) der Ziegel-Gebäudevarianten

Ergebnisse (2.3)

Ökobilanz LCA

Ziegel-Gebäudevarianten

- Relative Werte
- Var. 1.1.1 = 100 %
 - Ziegelbauweise mit WDVS
 - Haustechnik NEH 2
 - Mit Pelletsheizung
- POCP ... Potential zur Bildung von Photooxidantien
- CED complete ... Primärenergieverbrauch gesamt

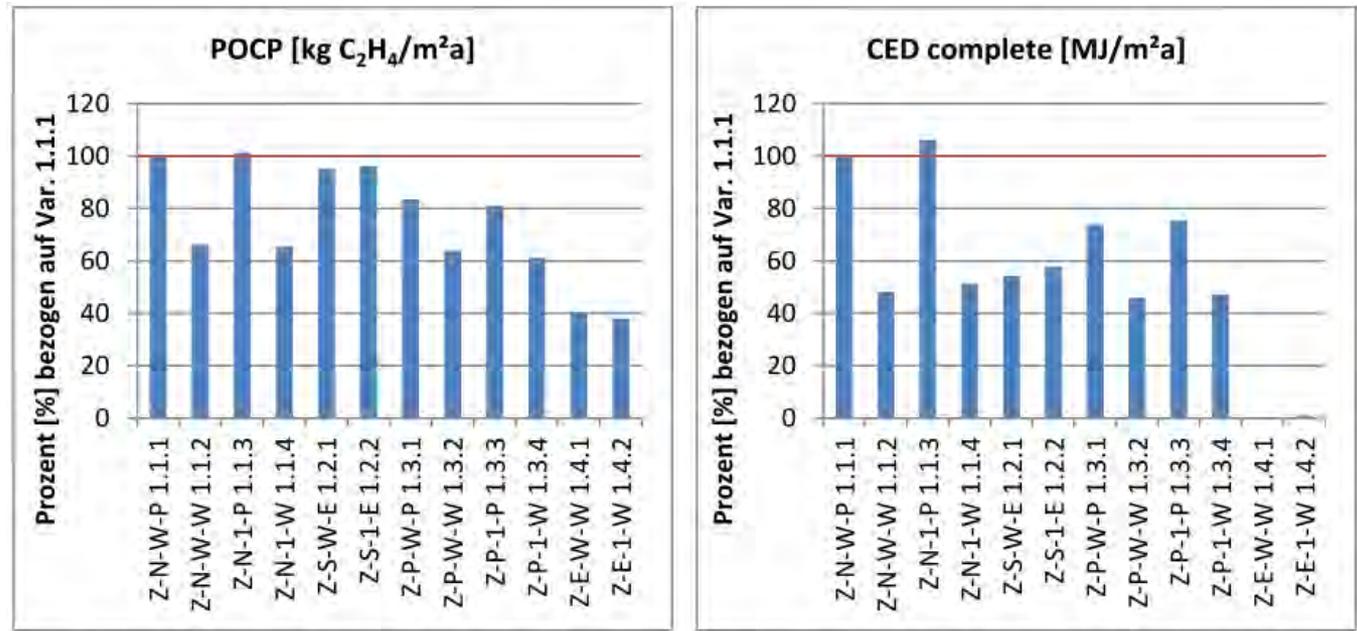


Abbildung 11: Vergleich des Potentials zur Bildung von Photooxidantien (POCP) und der gesamte Primärenergieverbrauch (CED complete) der Ziegel-Gebäudevarianten

Ergebnisse (2.4)

Ökobilanz LCA

Ziegel-Gebäudevarianten

- Relative Werte
- Var. 1.1.1 = 100 %
 - Ziegelbauweise mit WDVS
 - Haustechnik NEH 2
 - Mit Pelletsheizung
- CED non ren ... Primärenergie nicht erneuerbar
- CED ren... Primärenergie erneuerbar

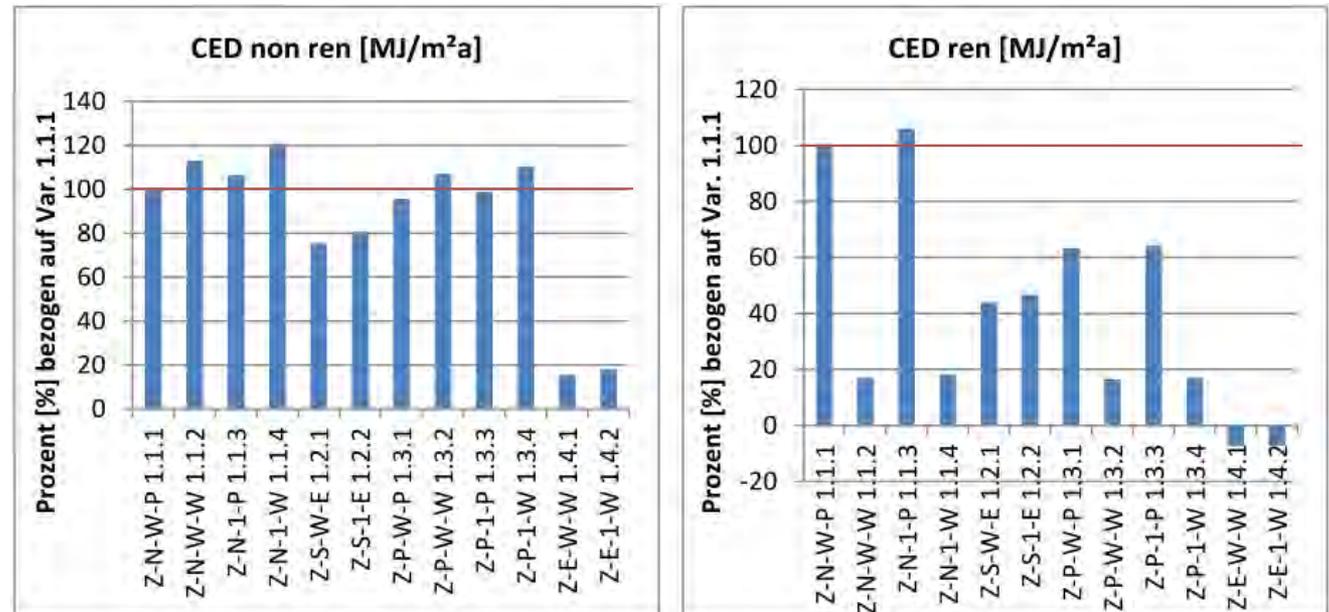


Abbildung 12: Vergleich des Primärenergieverbrauchs nicht erneuerbar (CEN non r.) und erneuerbar (CED r.) der Ziegel-Gebäudevarianten

Ergebnisse (3.1)

Ökobilanz LCA

Beton-Gebäudevarianten

- Relative Werte
 - NEH 2 = 100 %
 - Betonbauweise mit WDVS
 - Haustechnik NEH 2
 - Mit Pelletsheizung
- AP ... Versäuerungspotential
EP ... Eutrophierungspotential

Modul B6	Energiebedarf
Modul A1-A3	Herstellung
Modul B4	Nutzung
Modul C3+C4	Entsorgung

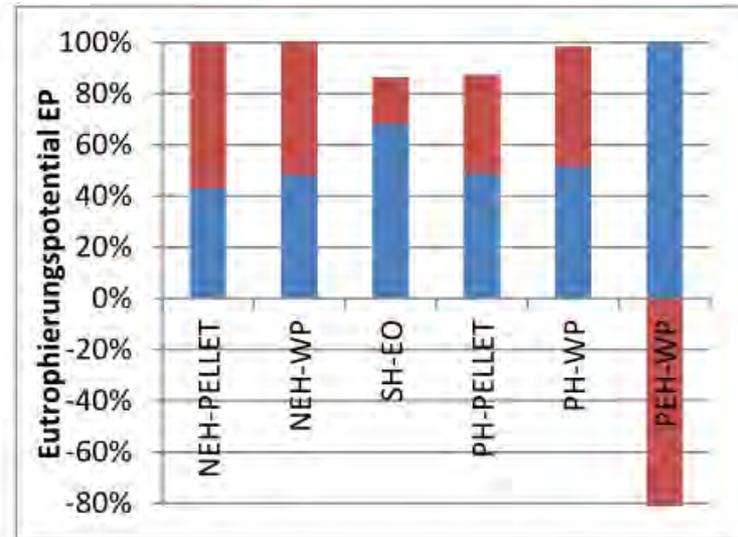
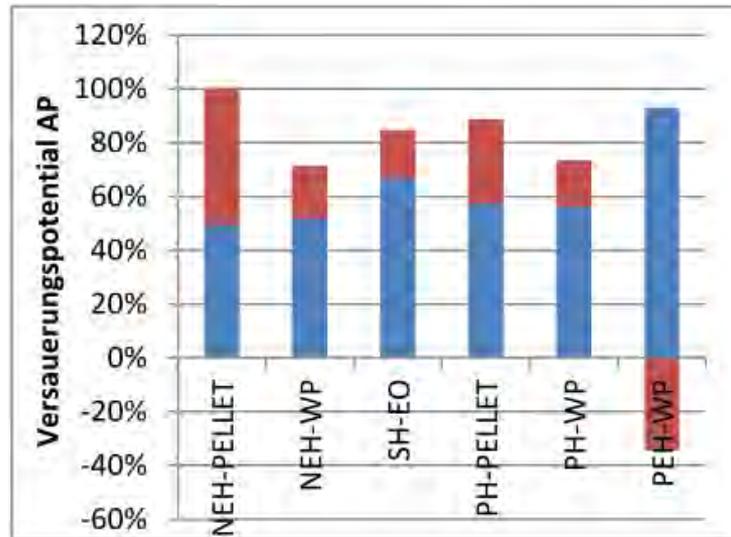


Abbildung 13: Versäuerungspotential (AP) und Eutrophierungspotential (EP) aller Haustechnikvarianten in Betonbauweise

Ergebnisse (3.2)

Ökobilanz LCA

Beton-Gebäudevarianten

- Relative Werte
 - NEH 2 = 100 %
 - Betonbauweise mit WDVS
 - Haustechnik NEH 2
 - Mit Pelletsheizung
- GWP ... Treibhauspotential
ODP ... Ozonabbaupotential

Modul B6	Energiebedarf
Modul A1-A3	Herstellung
Modul B4	Nutzung
Modul C3+C4	Entsorgung

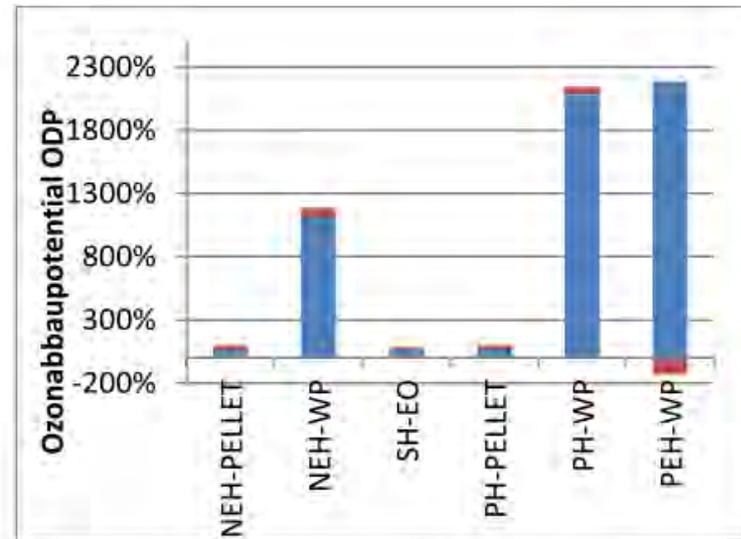
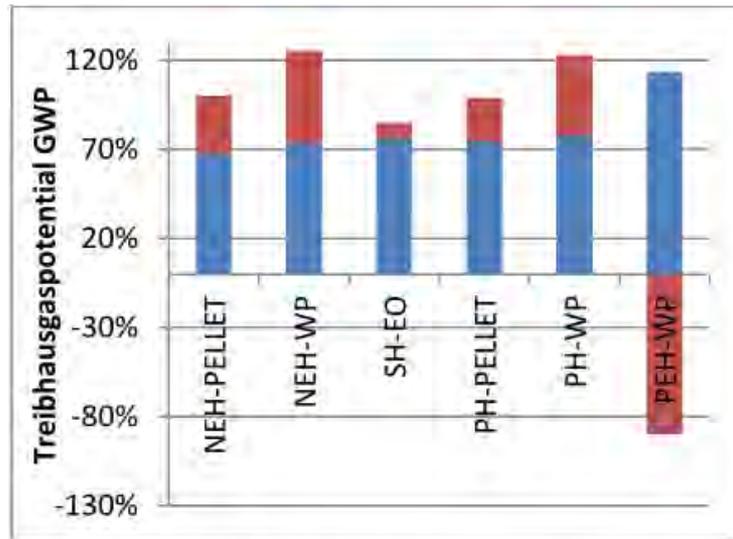


Abbildung 14: Treibhausgaspotential (GWP) und Ozonabbaupotential (ODP) aller Haustechnikvarianten in Betonbauweise

Ergebnisse (3.3)

Ökobilanz LCA

Beton-Gebäudevarianten

- Relative Werte
- NEH 2 = 100 %
 - Betonbauweise mit WDVS
 - Haustechnik NEH 2
 - Mit Pelletsheizung

POCP ...

CED complete ...

Potential zur Bildung von Photooxidantien

Primärenergieverbrauch gesamt

Modul B6	Energiebedarf
Modul A1-A3	Herstellung
Modul B4	Nutzung
Modul C3+C4	Entsorgung

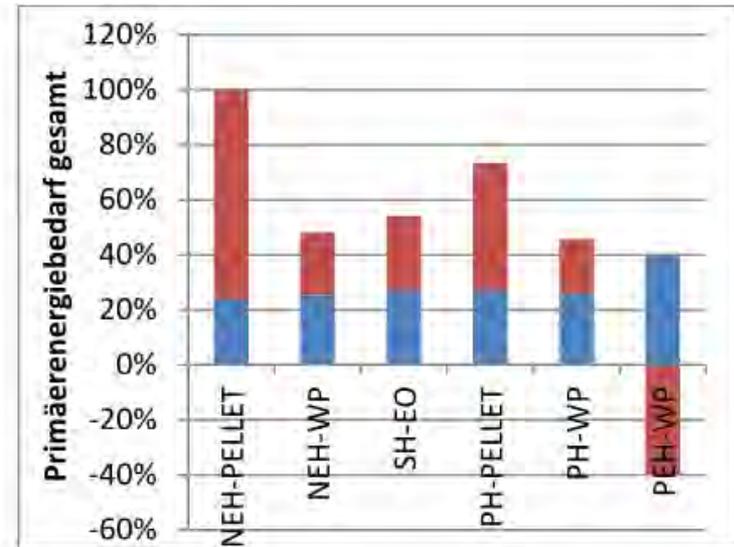
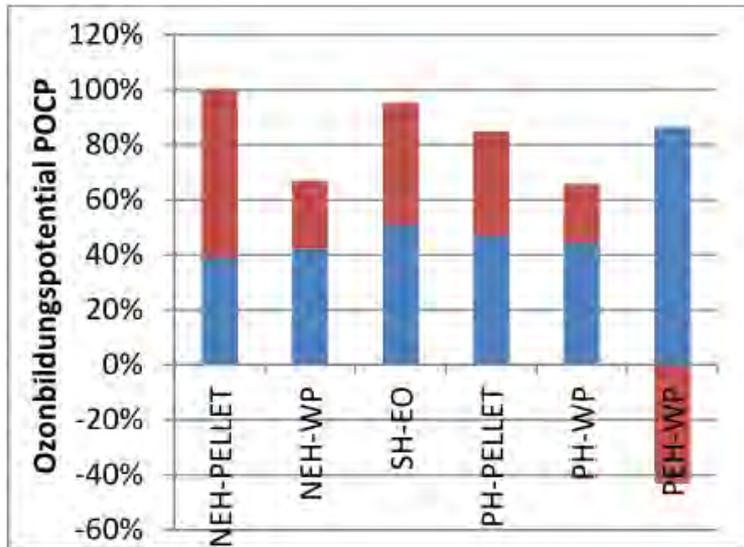


Abbildung 15: Potential zur Bildung von Photooxidantien (POCP) und Primärenergiebedarf gesamt aller Haustechnikvarianten in Betonbauweise

Ergebnisse (3.4)

Ökobilanz LCA

Beton-Gebäudevarianten

- Relative Werte
- NEH 2 = 100 %
 - Betonbauweise mit WDVS
 - Haustechnik NEH 2
 - Mit Pelletsheizung

CED non r. ...

Primärenergie nicht erneuerbar

CED r. ...

Primärenergie erneuerbar

Modul B6	Energiebedarf
Modul A1-A3	Herstellung
Modul B4	Nutzung
Modul C3+C4	Entsorgung

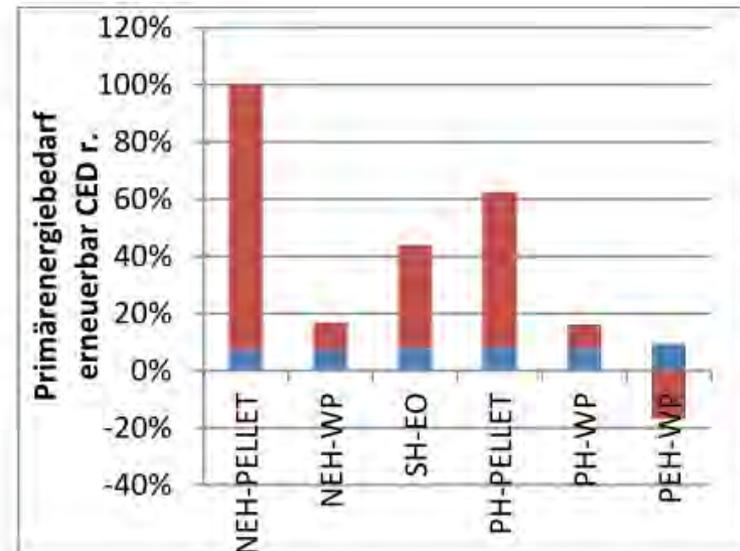
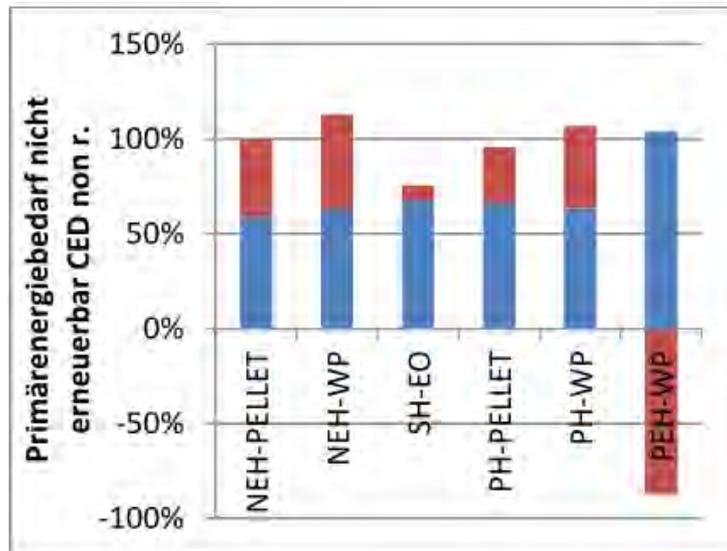
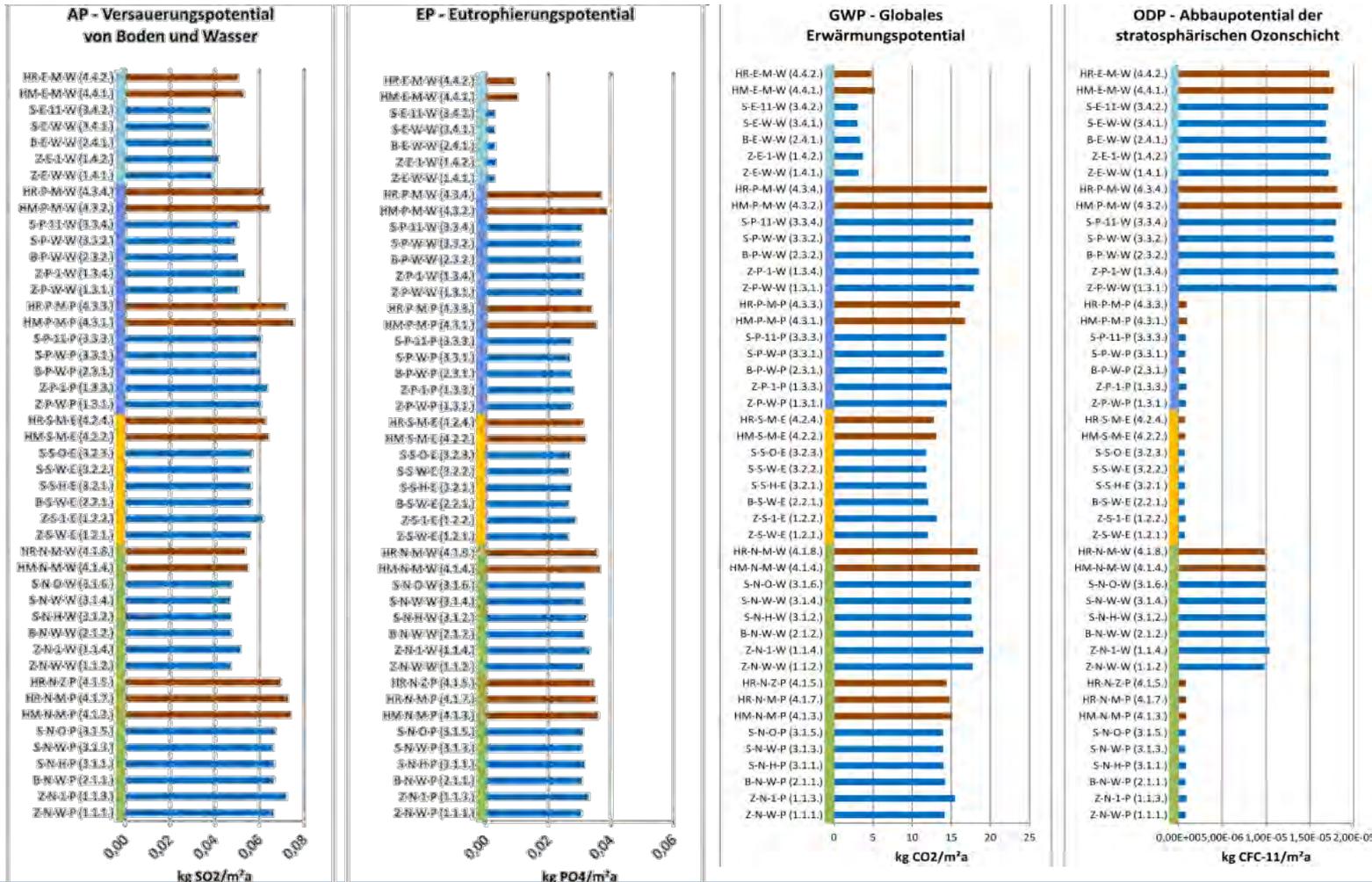


Abbildung 16: Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (CED non r.) und erneuerbar (CED r.) aller Haustechnikvarianten in Betonbauweise

Ergebnisse (4.1) Ökobilanz LCA – Übersicht

Braune Balken mit EcoSoft v5.0

Blaue Balken mit ecoinvent v2.2



PEH

PH

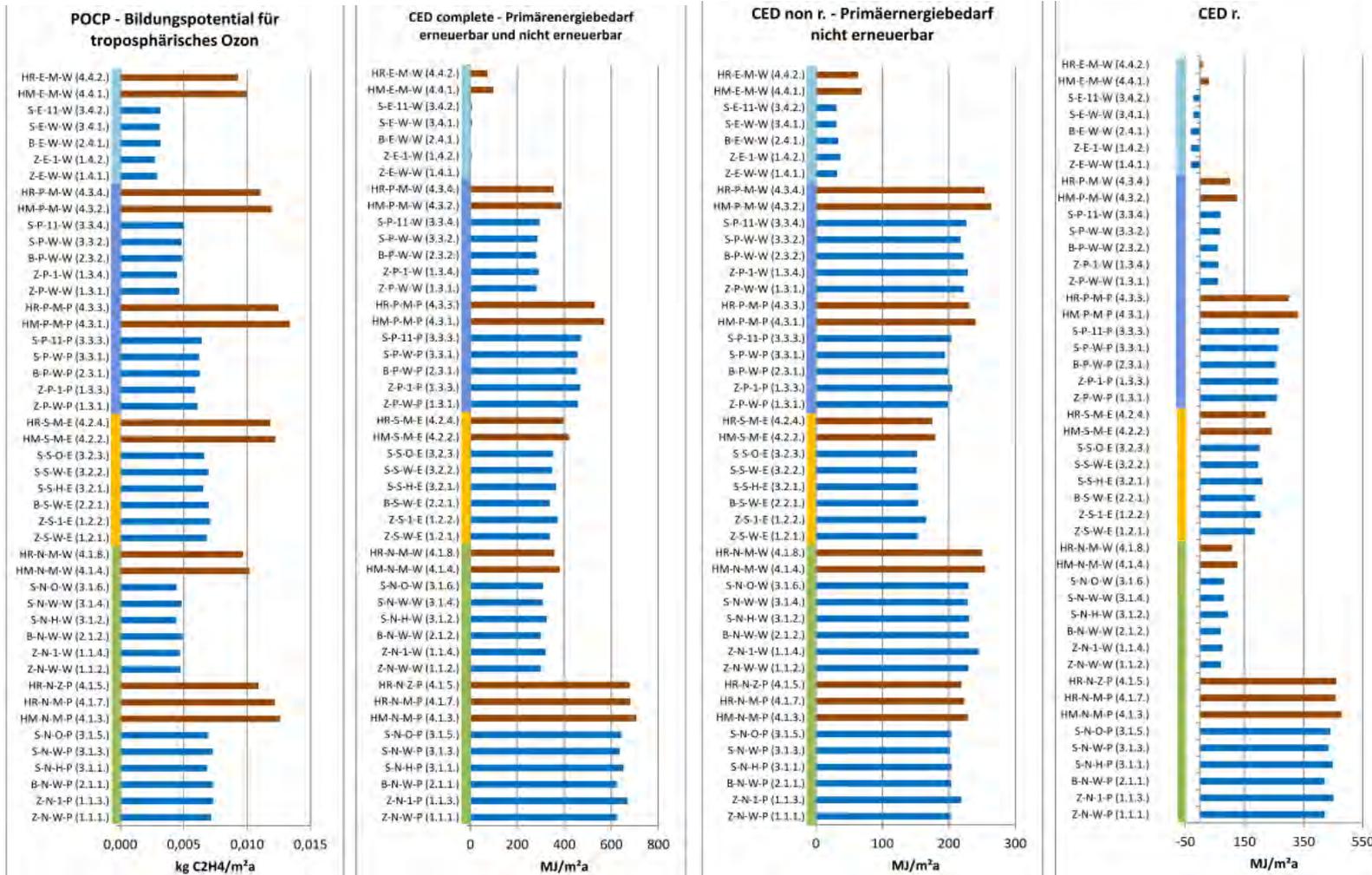
SH

NEH

Ergebnisse (4.2) Ökobilanz LCA – Übersicht

Braune Balken mit EcoSoft v5.0

Blaue Balken mit ecoinvent v2.2

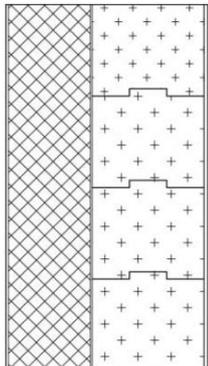


Ergebnisse (5.1)

Ökobilanz LCA

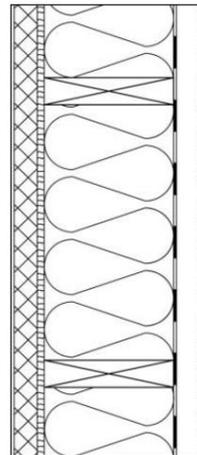
Datenbanken EcoSoft v5.0 und ecoinvent v2.2

Ziegelaußenwand



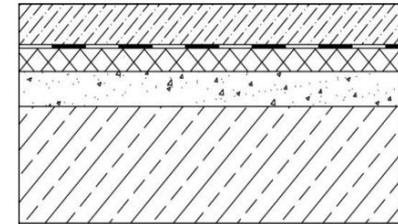
Silikatputz
Glasfaserarmierung
Putzspachtel
Polystyrol expandiert (EPS) – F
Fassadendämmplatte
Putzspachtel
Hochlochziegel
Gipsputz

Holzrahmenaußenwand



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

Stahlbetondecke



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

Ergebnisse (5.2)

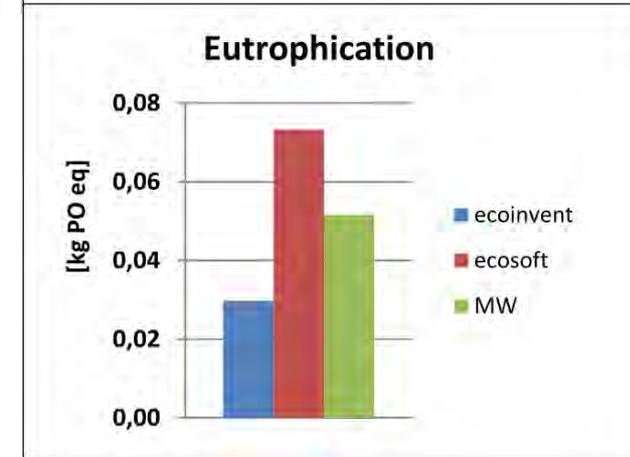
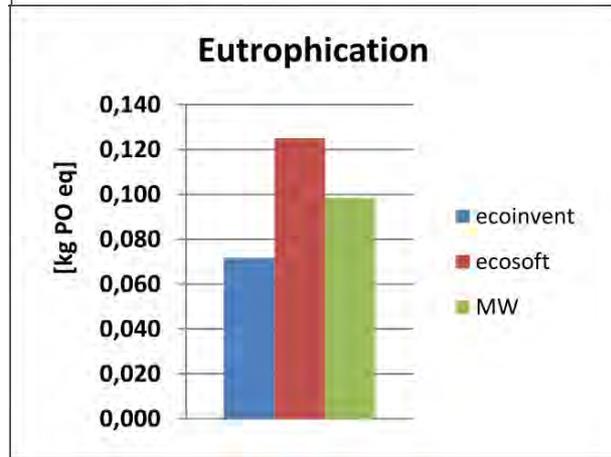
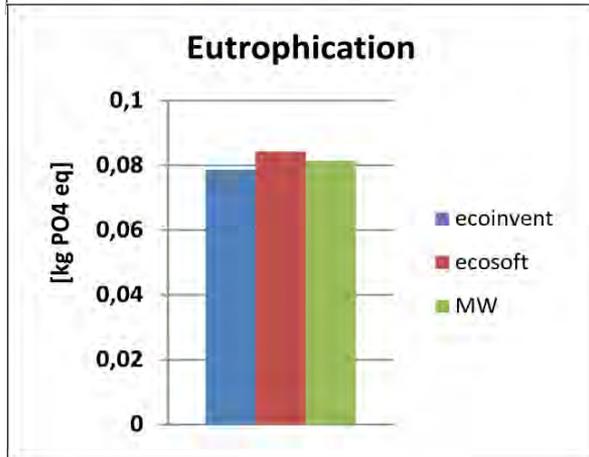
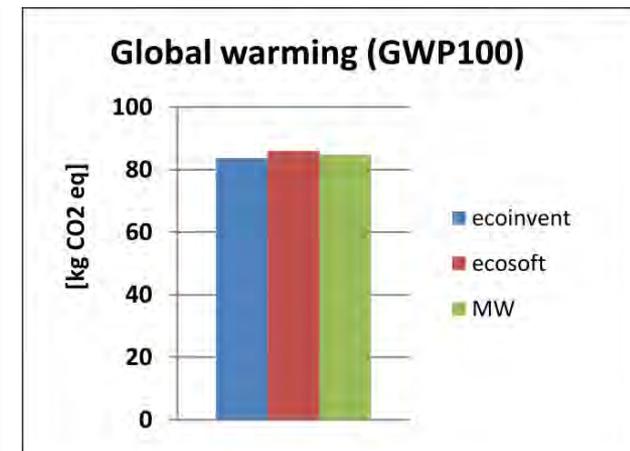
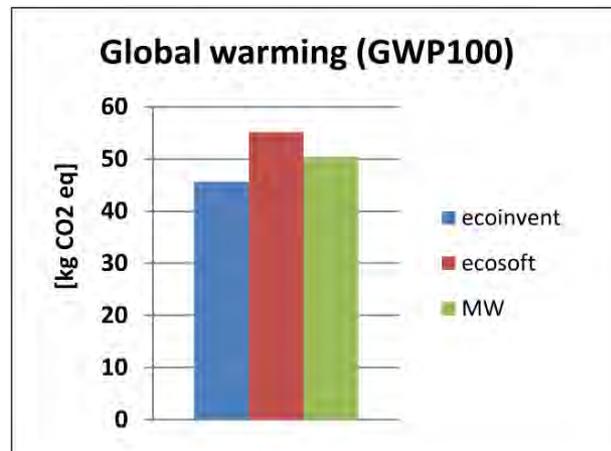
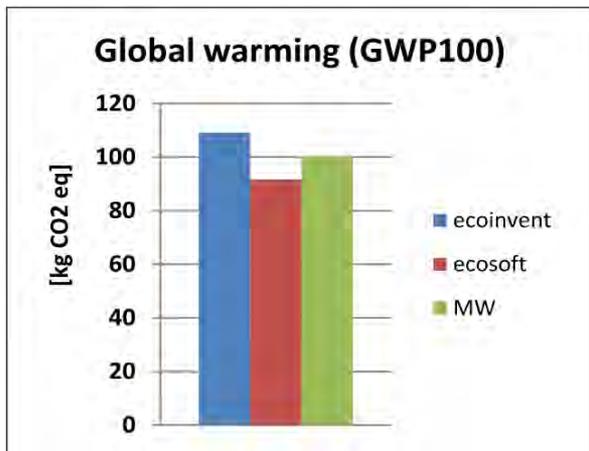
Ökobilanz LCA

Datenbanken EcoSoft v5.0 und ecoinvent v2.2

Ziegelaußenwand

Holzrahmenaußenwand

Stahlbetondecke



Ergebnisse (5.3)

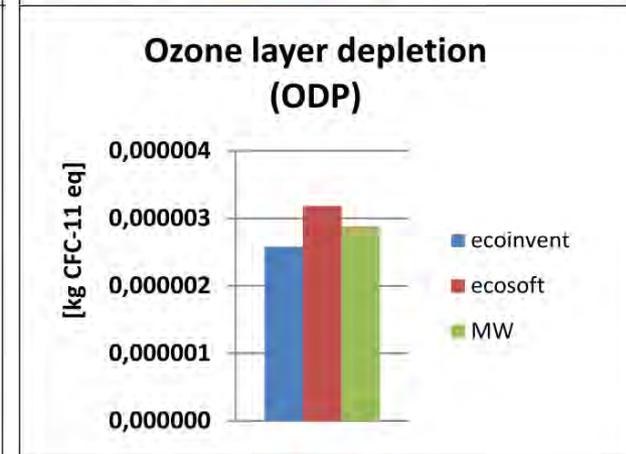
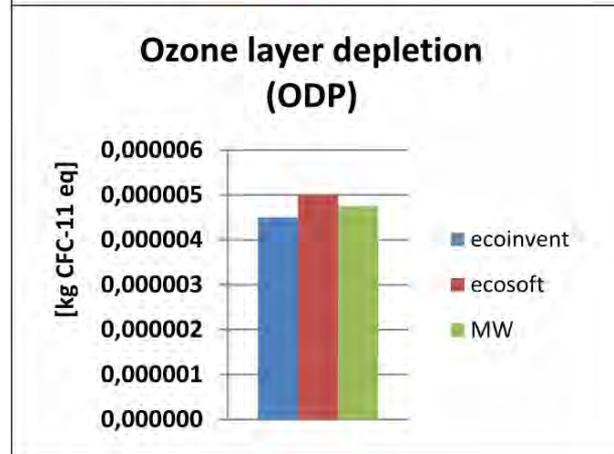
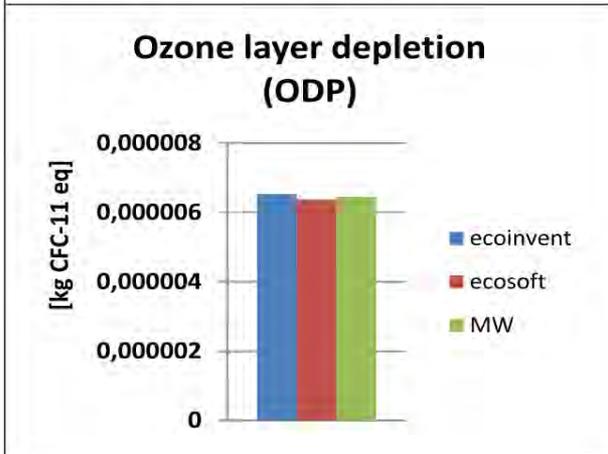
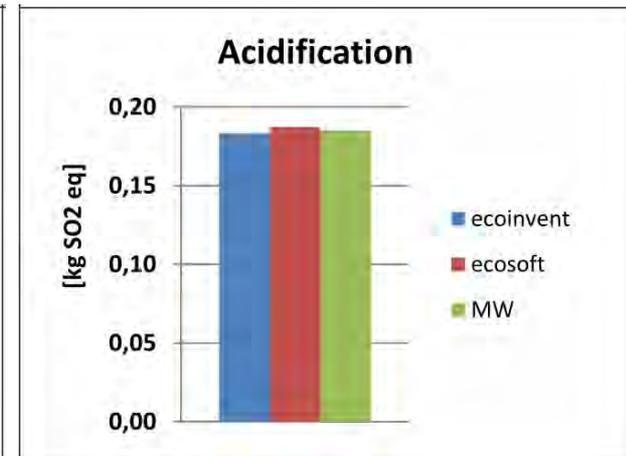
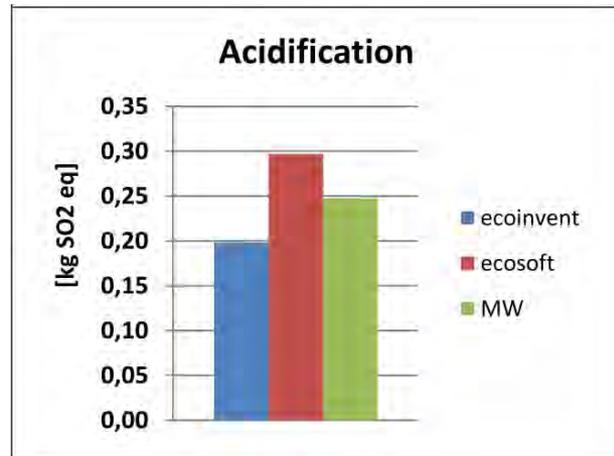
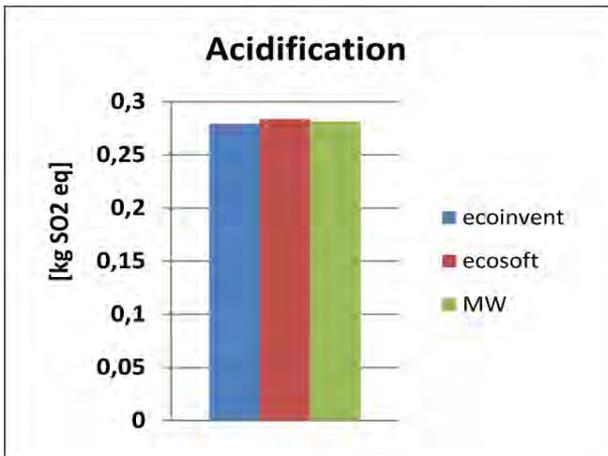
Ökobilanz LCA

Datenbanken EcoSoft v5.0 und ecoinvent v2.2

Ziegelaußenwand

Holzrahmenaußenwand

Stahlbetondecke



Ergebnisse (6.1)

Lebenszykluskosten LCC

Barwert 50a

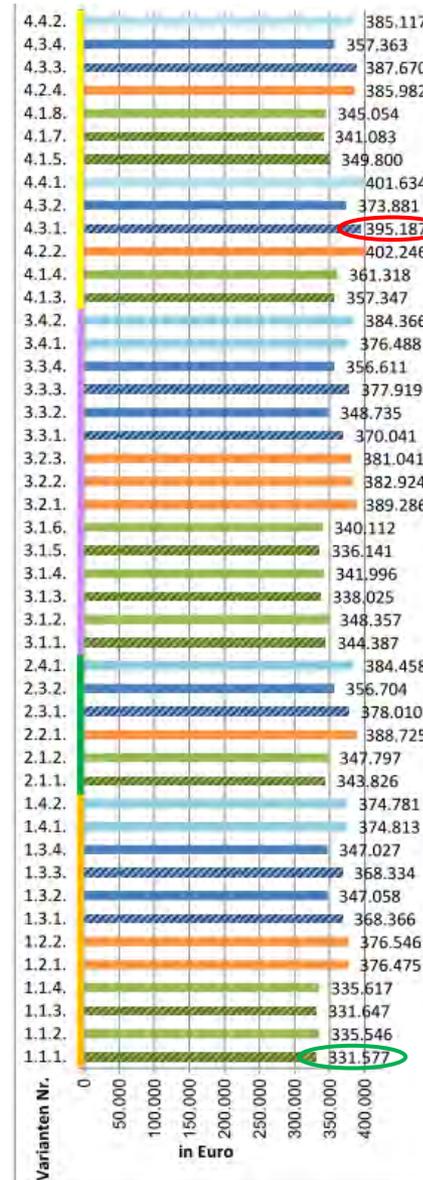
Bauweisen

- Orange** Ziegelgebäude
- Grün** Betongebäude
- Violett** Holzspanbetongebäude
- Gelb** Holzgebäude

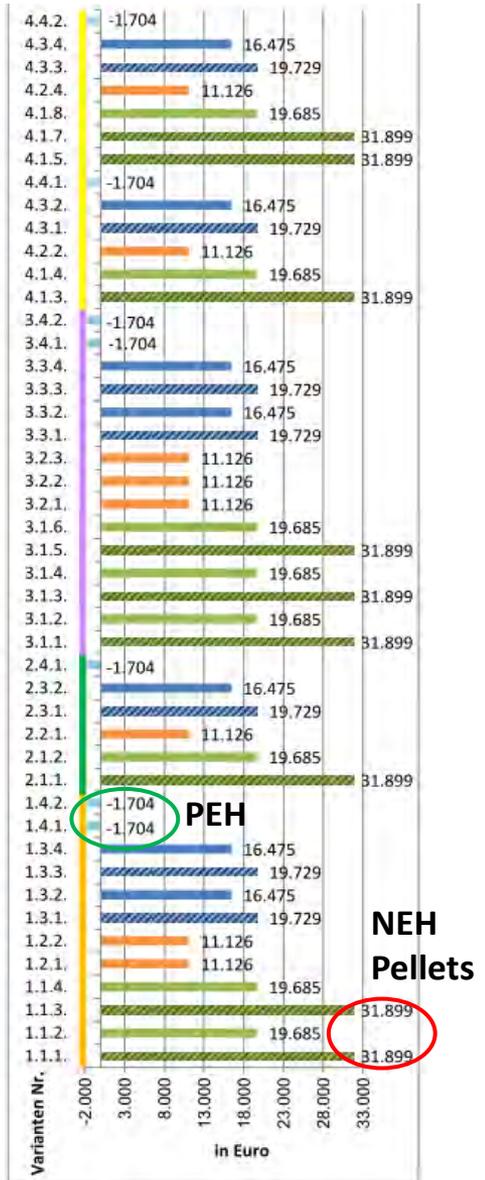
Haustechnik-Varianten

- Grün** Niedrigenergiegebäude
- orange** Sonnenhäuser
- dunkelblau** Passivhäuser
- hellblau** Plusenergiehäuser

Herstellungsphase A1-A3



Nutzungsphase B6



Ergebnisse (6.2)

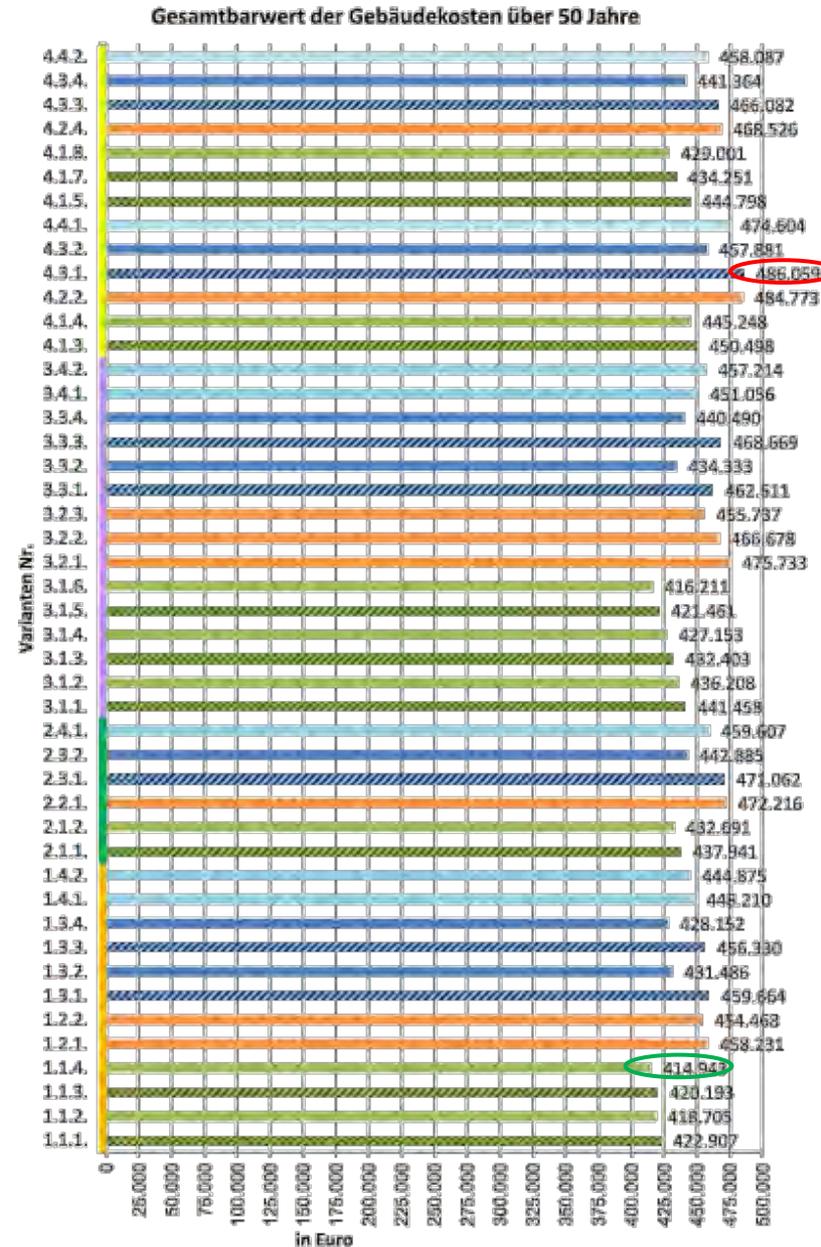
Lebenszykluskosten LCC

Bauweisen

- Orange** Ziegelgebäude
- Grün** Betongebäude
- Violett** Holzspanbetongebäude
- Gelb** Holzgebäude

Haustechnik-Varianten

- Grün** Niedrigenergiegebäude
- orange** Sonnenhäuser
- dunkelblau** Passivhäuser
- hellblau** Plusenergiehäuser



Zusammenfassung

Ökobilanz LCA

- Unterschiedliche Haustechnikvarianten (= Energiebereitstellung)
 - ⇒ Große Unterschiede in den Ökobilanzergebnissen
 - ⇒ Unterschiedliche Auswirkungen bei den einzelnen Ökoindikatoren
- Teilweise große Differenzen aus den verschiedenen Datenbanken für die Ökobilanz

Lebenszykluskosten

- Gesamtbarwert über 50 Jahre: 1.880 - 2.200 Euro / m² BGF
 - € 2.200: Var. 4.3.1 Massivholz, Mineralwolledämmung, Pelletsheizung
 - € 1.880: Var. 1.1.4 Ziegel einschalig, Wärmepumpe
- Betriebskosten!!!

Schlussfolgerungen

Es gibt nicht das beste Haus.

Die Einzelergebnisse zeigen, dass kein bestimmter Baustoff, kein Energiestandard und somit **keine Gebäudevariante** bei allen Ökoindikatoren besser ist als die anderen.

Bei Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus (hier über 100 Jahre) ist der **Einfluss der Baustoffe** auf das Gesamtergebnis **nicht signifikant!**

Sehr relevant in Bezug auf Kosten und Ökologie sind allerdings:

- der **Energiestandard** und
- die **Gebäudetechnik/Energieträger**



DI Petra Johanna Sölkner
Bautechnisches Institut Linz
Karl Leitl-Straße 2
4048 Puchenau bei Linz

Tel.: +43 732 221515-26
p.soelkner@bti.at



DI Sebastian Spaun
Vereinigung der Österr. Zementindustrie
Reisnerstraße 53
1030 Wien

Tel.: +43 1 7146681-51
spaun@zement.at

ACR Forschungsschwerpunkt Nachhaltiges Bauen
www.acr.at

Projektbericht im Rahmen des Programms Haus der Zukunft
Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie
Berichte aus Energie und Umweltforschung Nr. 51/2014