

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

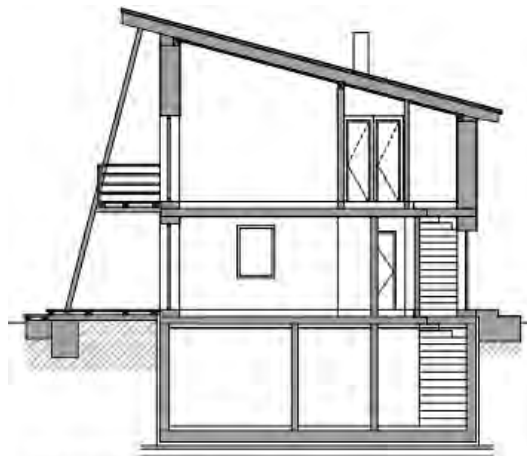
Vergleich eines virtuellen **Einfamilienhauses**

Unterschiedliche Ausführung

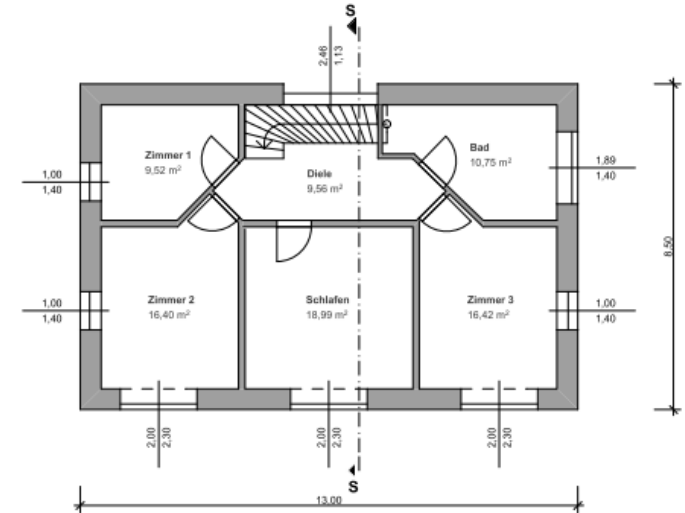
45 Gebäudevarianten

1. Ökologische Auswirkungen
2. Ökonomische Situation

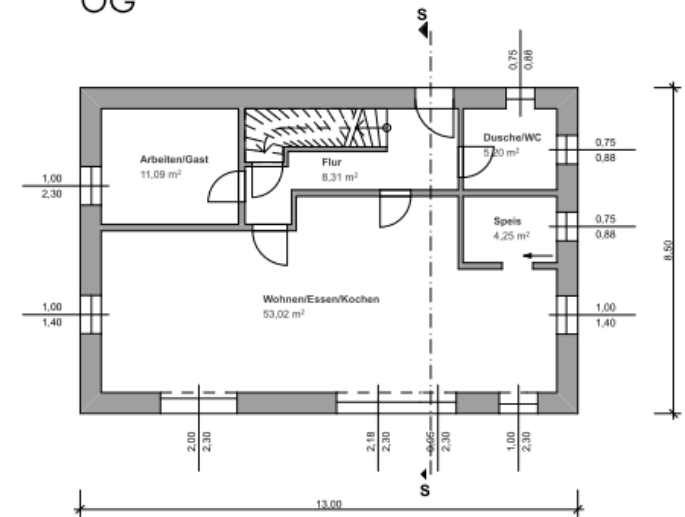
Über den **gesamten Lebenszyklus**



SCHNITT S-S



OG



EG

## 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 Mineralwolledämmung
- Holz massiv mit Mineralwolledämmung

### Energiestandards

HWB<sub>ref</sub> 40 kWh/m<sup>2</sup>a

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

HWB<sub>ref</sub> 10 kWh/m<sup>2</sup>a

- 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.
<b>1. Ziegelbauweise</b>				
<b>1.1. Niedrigenergiehaus (NEH)</b>				
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
<b>1.2. Sonnenhaus (SH)</b>				
5	1.2.1.	Z-S-W-E	Ziegel + WDVS + Einzelofen	SH
6	1.2.2.	Z-S-1-E	Ziegel einschalig + Einzelofen	SH
<b>1.3. Passivhaus (PH)</b>				
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
<b>1.4. Plusenergiehaus (PEH)</b>				
11	1.4.1.	Z-E-W-W	Ziegel + WDVS + Wärmepumpe	PEH
12	1.4.2.	Z-E-1-W	Ziegel einschalig + Wärmepumpe	PEH

<b>2. Betonbauweise</b>				
<b>2.1. Niedrigenergiehaus (NEH)</b>				
13	2.1.1.	B-N-W-P	Beton + WDVS + Pelletsheizung	NEH2
14	2.1.2.	B-N-W-W	Beton + WDVS + Wärmepumpe	NEH1
<b>2.2. Sonnenhaus (SH)</b>				
15	2.2.1.	B-S-W-E	Beton + WDVS + Einzelofen	SH
<b>2.3. Passivhaus (PH)</b>				
16	2.3.1.	B-P-W-P	Beton + WDVS + Pelletsheizung	PH2
17	2.3.2.	B-P-W-W	Beton + WDVS + Wärmepumpe	PH1
<b>2.4. Plusenergiehaus (PEH)</b>				
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.

<b>3. Holzspanbeton</b>				
<b>3.1. Niedrigenergiehaus (NEH)</b>				
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
<b>3.2. Sonnenhaus (SH)</b>				
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
<b>3.3. Passivhaus (PH)</b>				
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
<b>3.4. Plusenergiehaus (PEH)</b>				
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

<b>4. Holz</b>				
<b>4.1. Niedrigenergiehaus (NEH)</b>				
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
<b>4.2. Sonnenhaus (SH)</b>				
42	4.2.2.	H-S-M-E	Massivholz + Mineralwolle + Einzelofen	SH
43	4.2.4.	H-S-M-E	Holzsteher + Mineralwolle + Einzelofen	SH
<b>4.3. Passivhaus (PH)</b>				
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
<b>4.4. Plusenergiehaus (PEH)</b>				
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 <sub>2 eq</sub> /m <sup>2</sup> a]
EP	Eutrophierungspotenzial [PO <sub>4 eq</sub> /m <sup>2</sup> a]
ODP	Potenzial zum Abbau der stratosphärischen Ozonschicht [kg CFC-11 <sub>eq</sub> /m <sup>2</sup> a]
POCP	Potenzial zur Bildung von troposphärischem Ozon [kg C <sub>2</sub> H <sub>4 eq</sub> /m <sup>2</sup> a]
GWP	Treibhauspotenzial [kg CO <sub>2 eq</sub> /m <sup>2</sup> a]
CED non ren	Einsatz nicht erneuerbarer Primärenergie, rohstofflich und energetisch genutzte Ressourcen [MJ/m <sup>2</sup> a]
CED ren	Einsatz erneuerbarer Primärenergie, rohstofflich und energetisch genutzte Ressourcen [MJ/m <sup>2</sup> 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



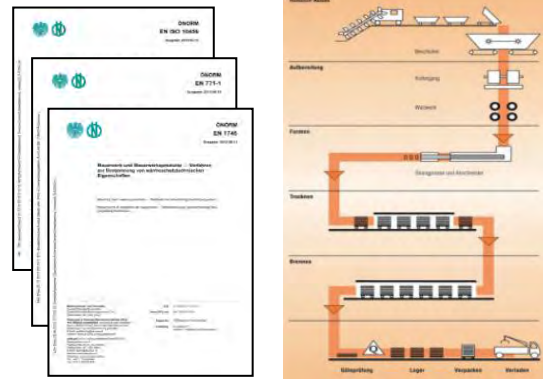
### Berechnungsregeln, Normen



### Produktkategorieregeln (PKR)



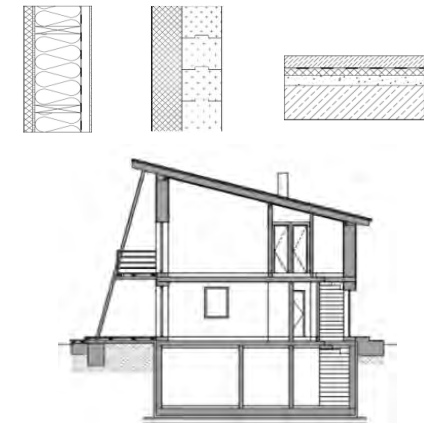
### Berechnung der Produkte



### Umweltproduktdeklarationen (EPD)



### Alle Baustoffe und Bauteile



### Gebäudezertifikate



Dieses Gebäude wurde im klima:aktiv GOLD Standard errichtet.

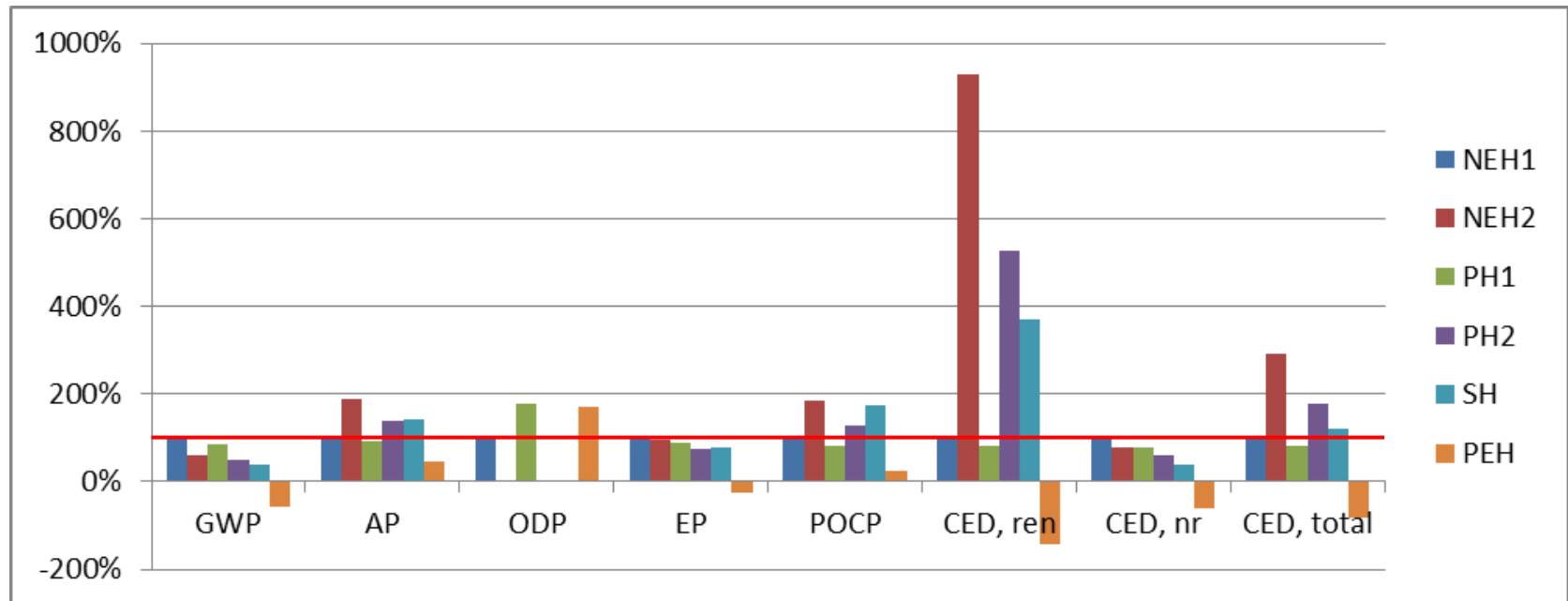
## Ergebnisse (1.1)      LCA Haustechnik

### 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

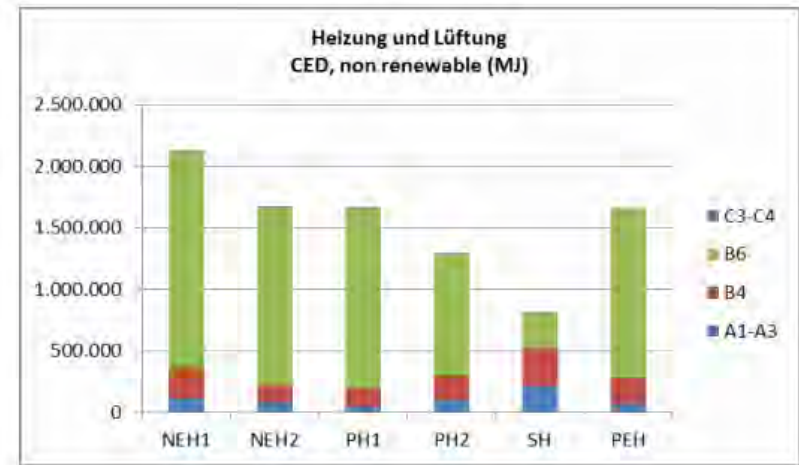
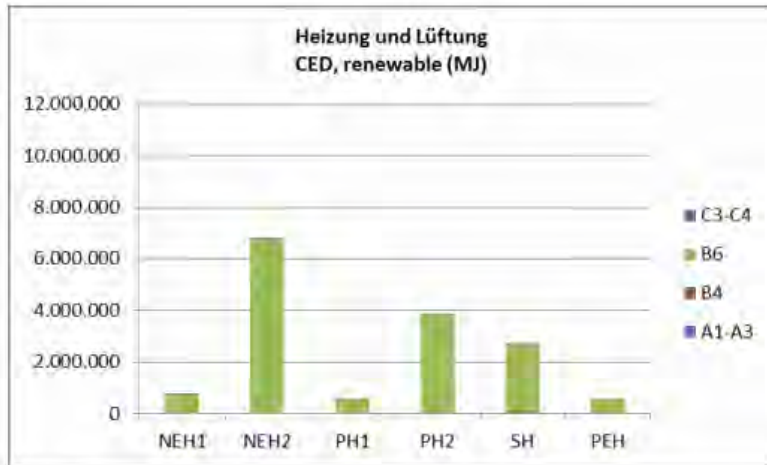


Abbildung 5: Kumulierte LCA Ergebnisse Primärenergiebedarf erneuerbar und nicht erneuerbar für alle Haustechnikvarianten

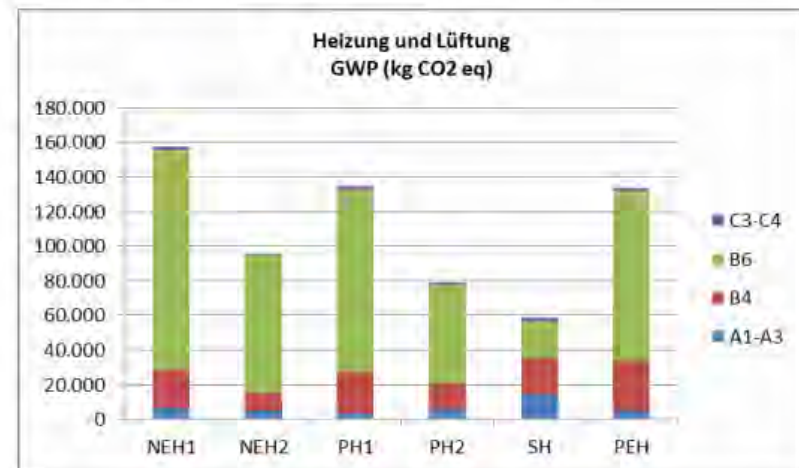
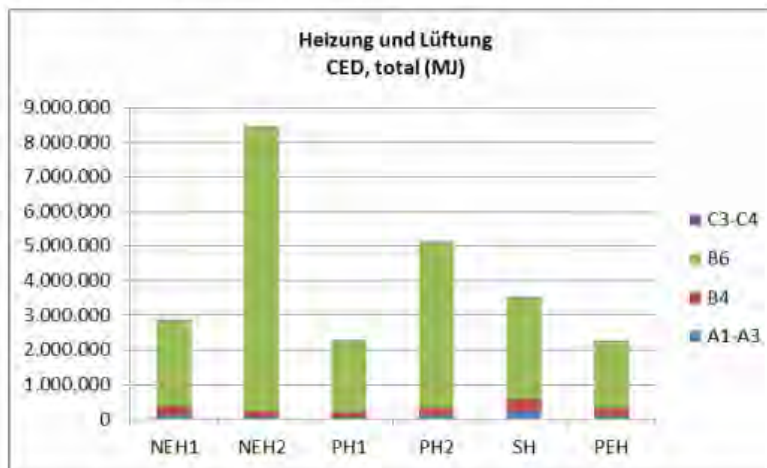


Abbildung 6: Kumulierte LCA Ergebnisse Primärenergiebedarf total und Treibhauspotential für alle Haustechnikvarianten

## Ergebnisse (1.3)

## LCA Haustechnik

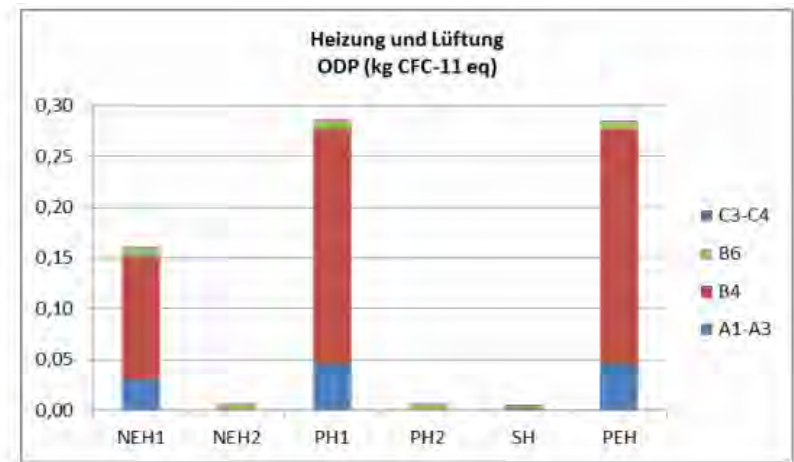
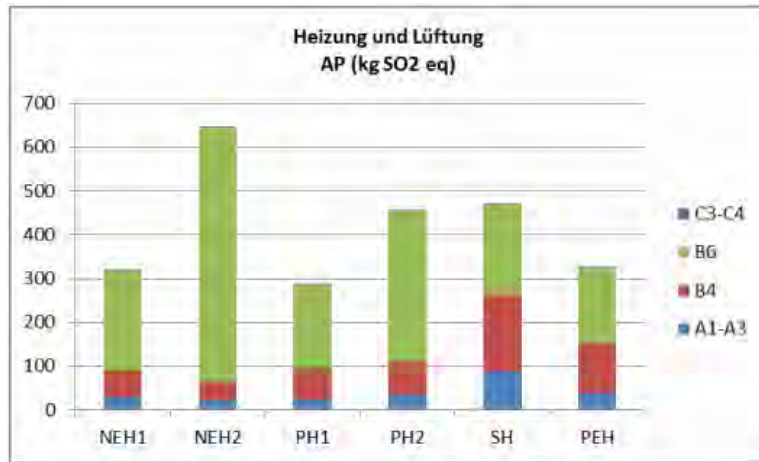


Abbildung 7: Kumulierte LCA Ergebnisse Versäuerungspotential total und Ozonzerstörungspotential für alle Haustechnikvarianten

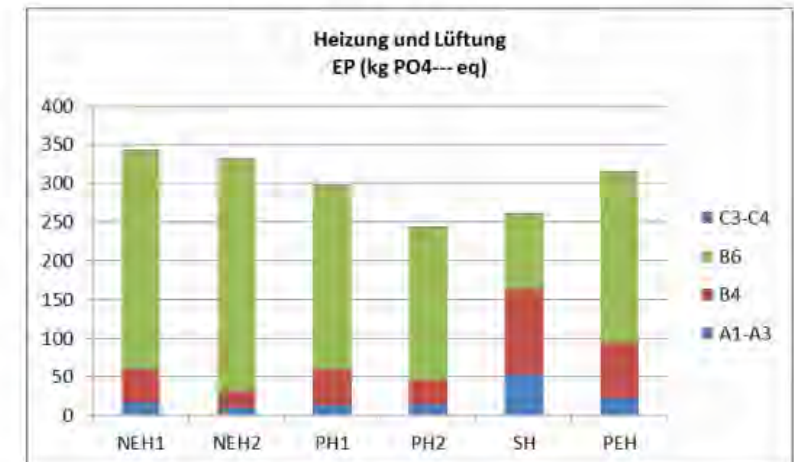
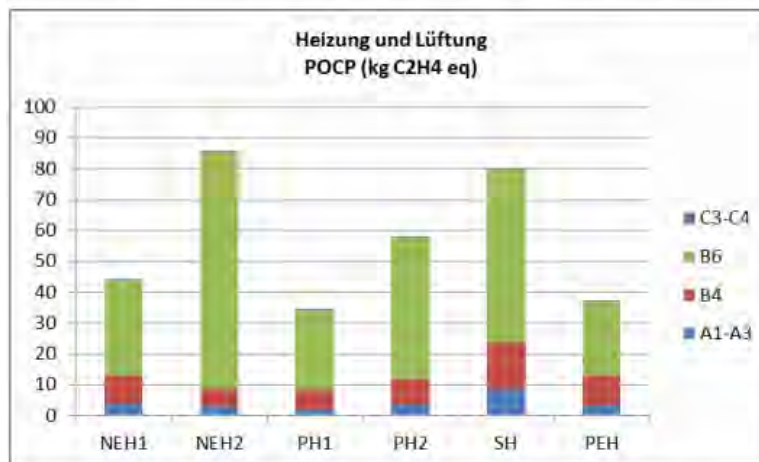


Abbildung 8: Kumulierte LCA Ergebnisse Potential für Bildung troposphärischen Ozons und Eutrophierungspotential für alle Haustechnikvarianten

## 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

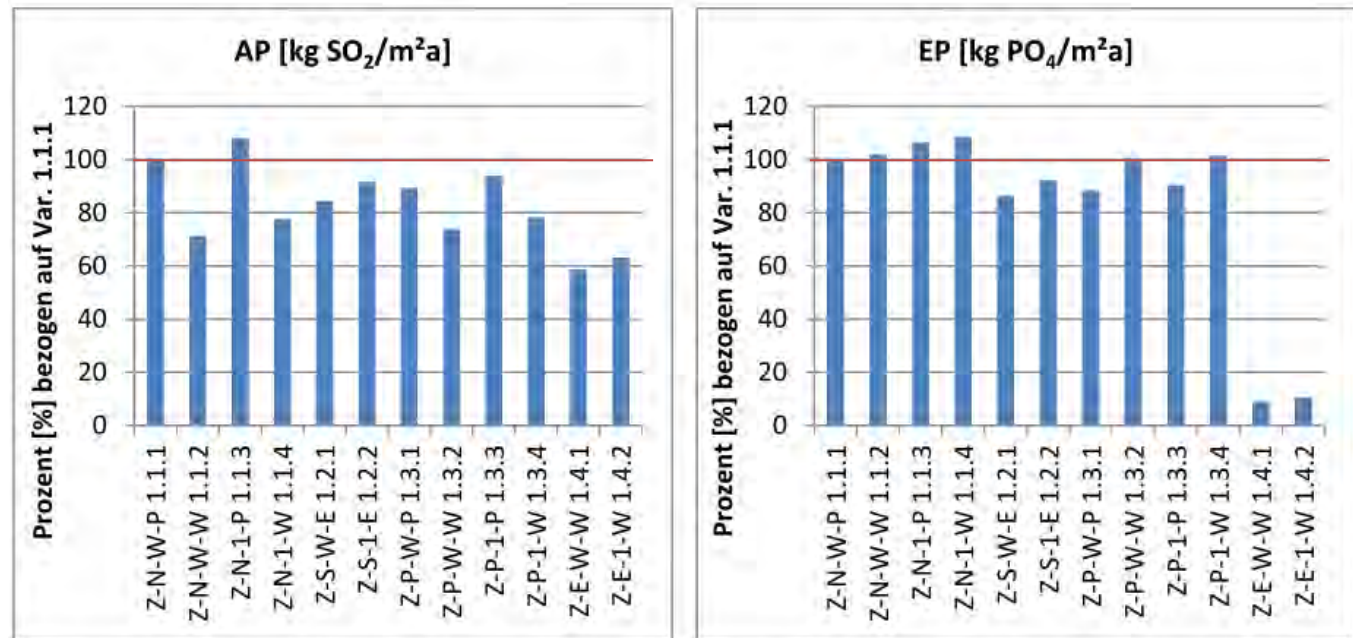


Abbildung 9: Vergleich des Versäuerungspotentials (AP) und des Eutrophierungspotentials (EP) der Ziegel-Gebäudevarianten

## 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

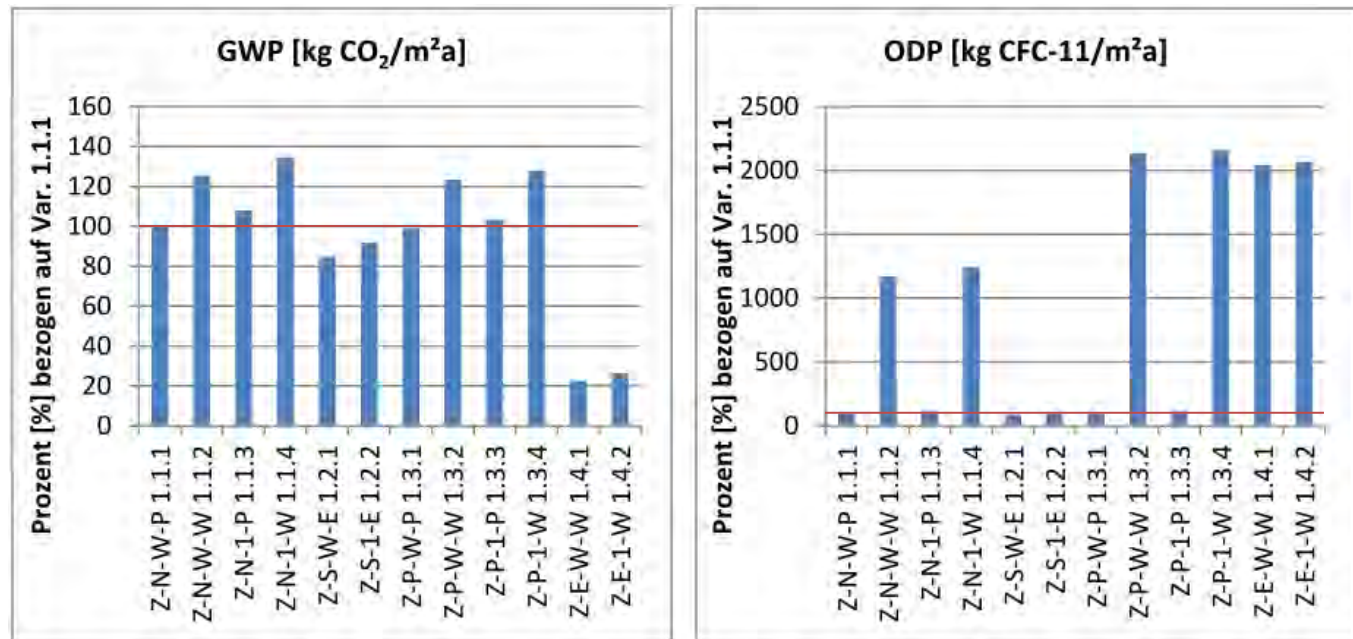


Abbildung 10: Vergleich des Treibhauspotentials (GWP) und des Ozonabbaupotentials (ODP) der Ziegel-Gebäudevarianten



## 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

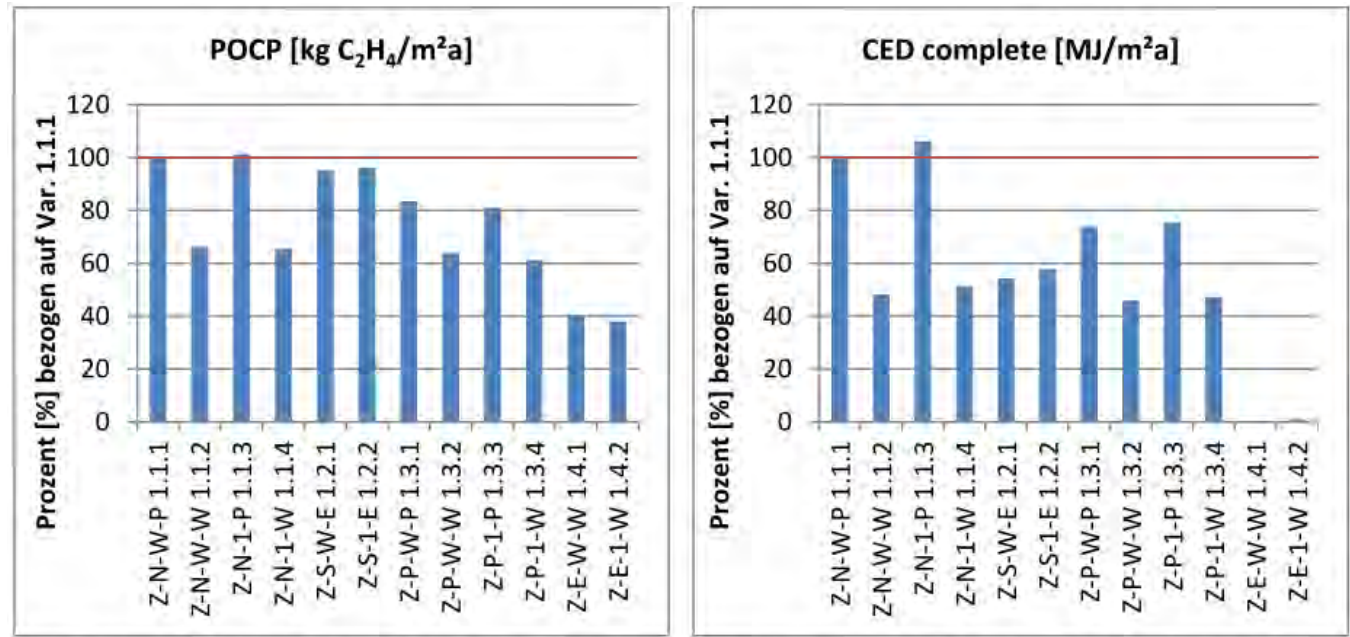


Abbildung 11: Vergleich des Potentials zur Bildung von Photooxidantien (POCP) und der gesamte Primärenergieverbrauch (CED complete) der Ziegel-Gebäudevarianten

## 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

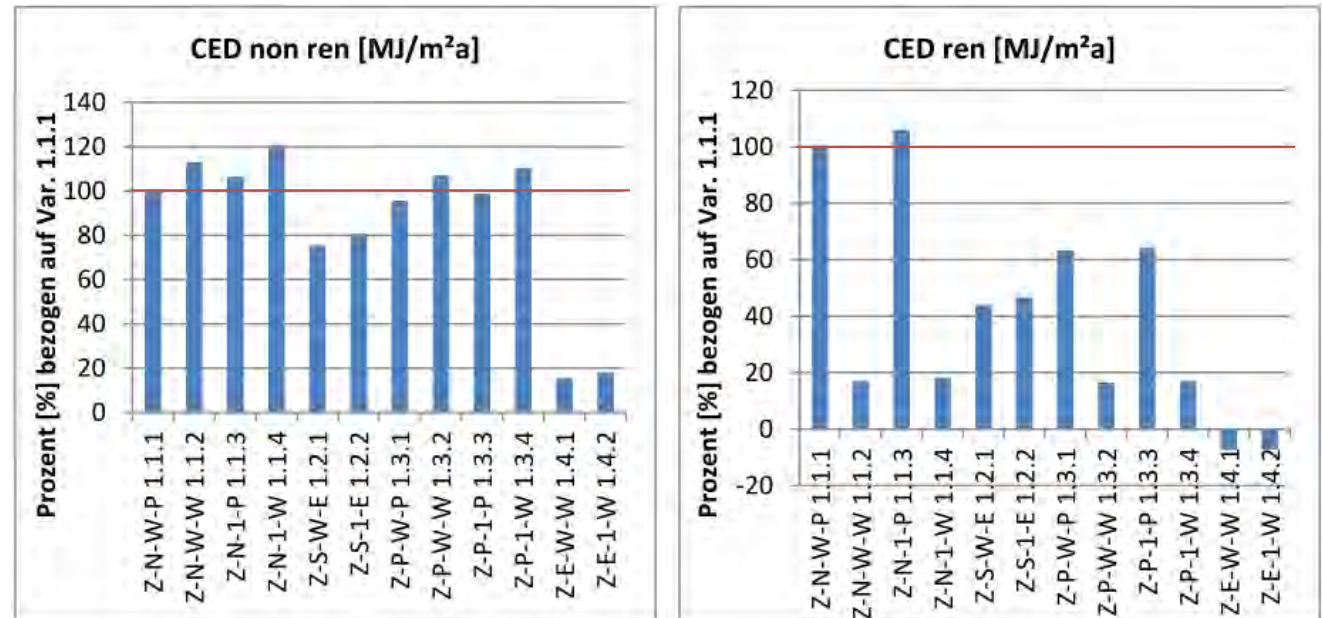


Abbildung 12: Vergleich des Primärenergieverbrauchs nicht erneuerbar (CEN non r.) und erneuerbar (CED r.) der Ziegel-Gebäudevarianten

## 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

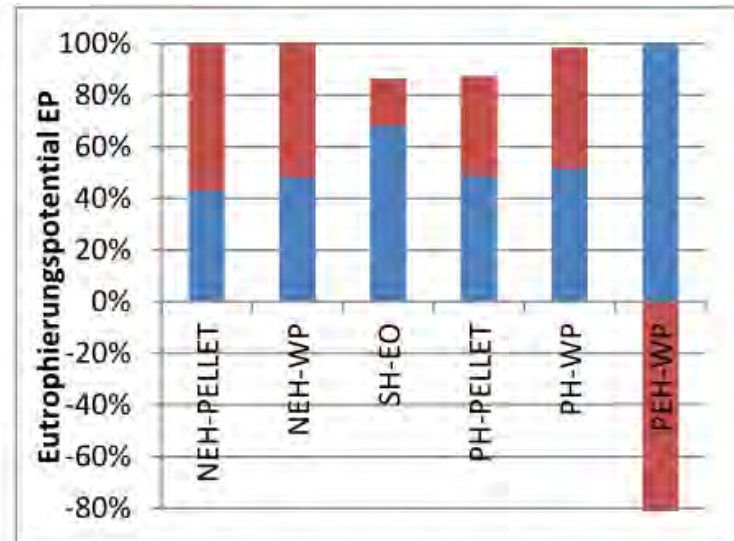
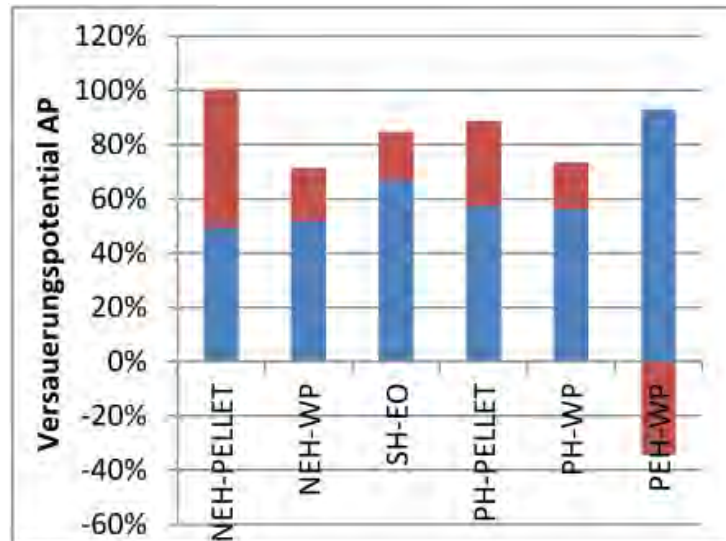


Abbildung 13: Versäuerungspotential (AP) und Eutrophierungspotential (EP) aller Haustechnikvarianten in Betonbauweise

## 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

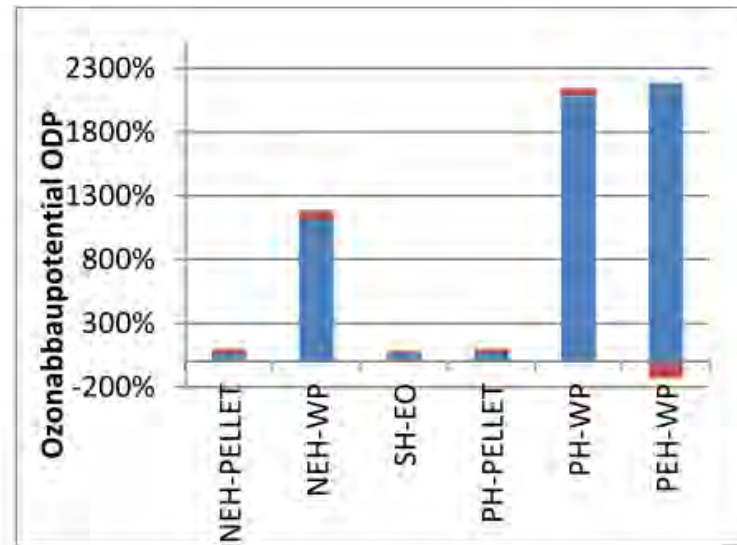
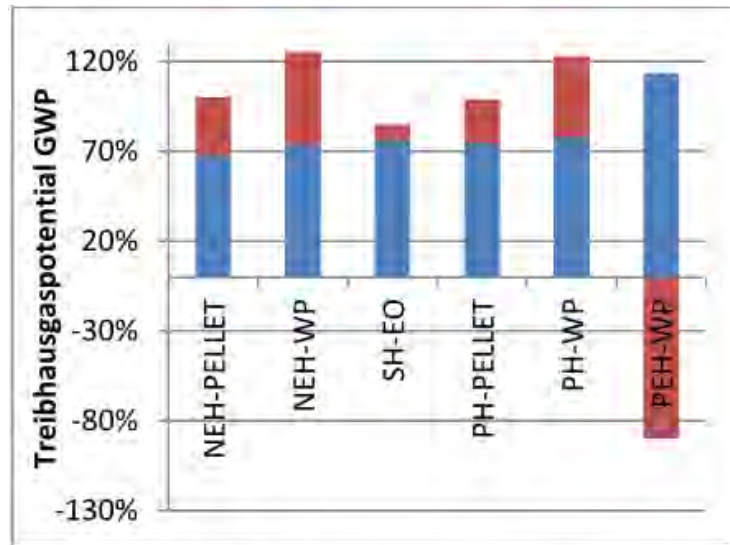


Abbildung 14: Treibhausgaspotential (GWP) und Ozonabbaupotential (ODP) aller Haustechnikvarianten in Betonbauweise

## 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

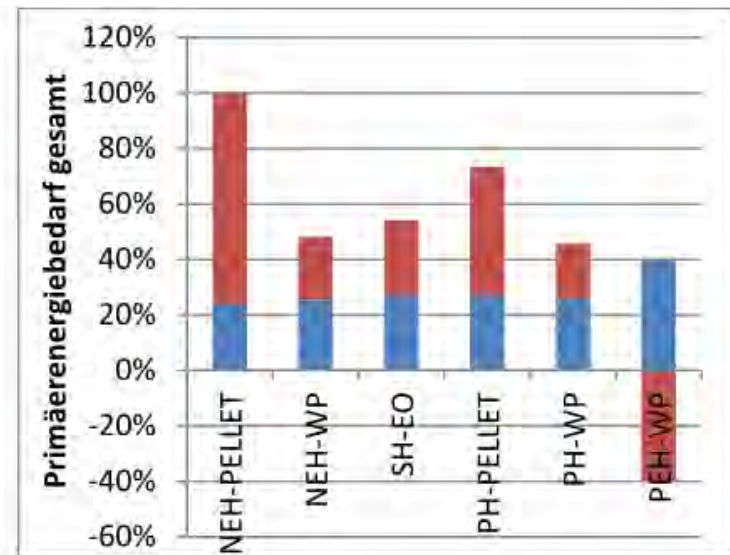
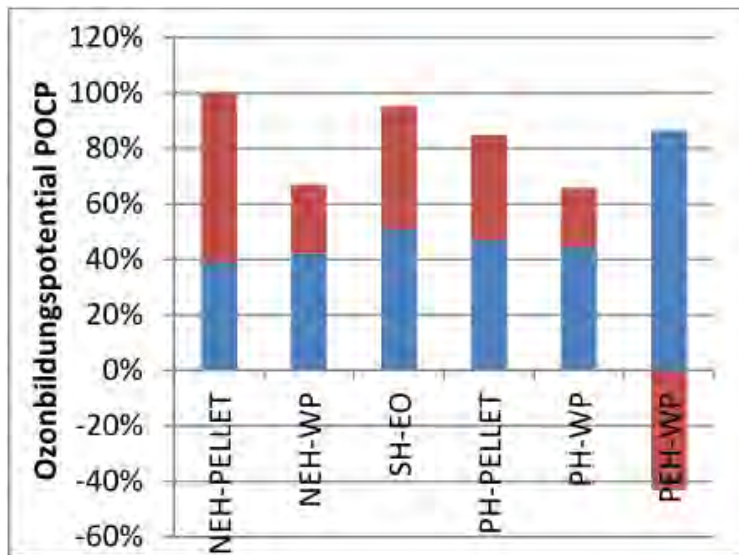


Abbildung 15: Potential zur Bildung von Photooxidantien (POCP) und Primärenergiebedarf gesamt aller Haustechnikvarianten in Betonbauweise

## 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

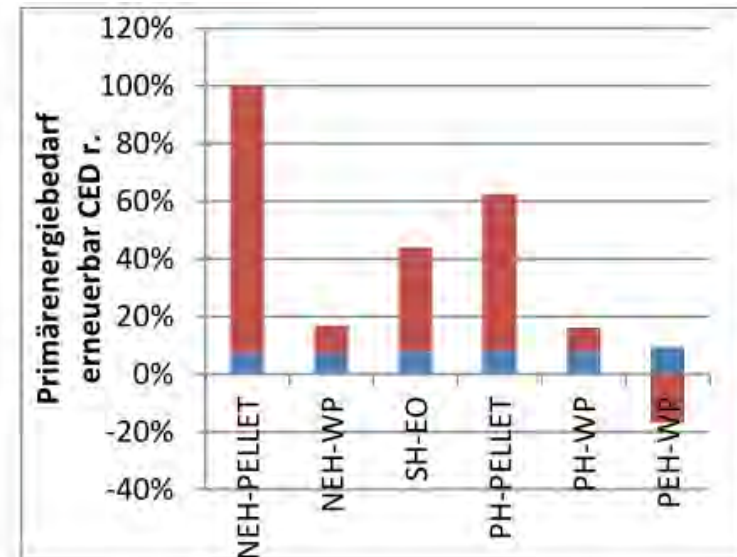
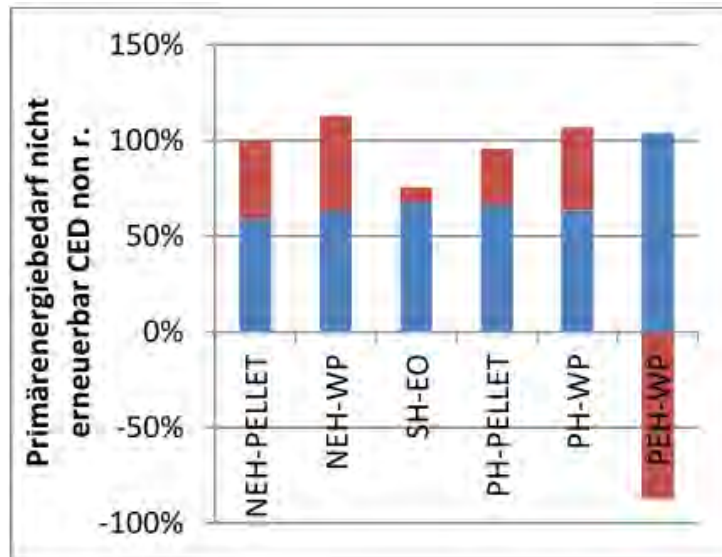
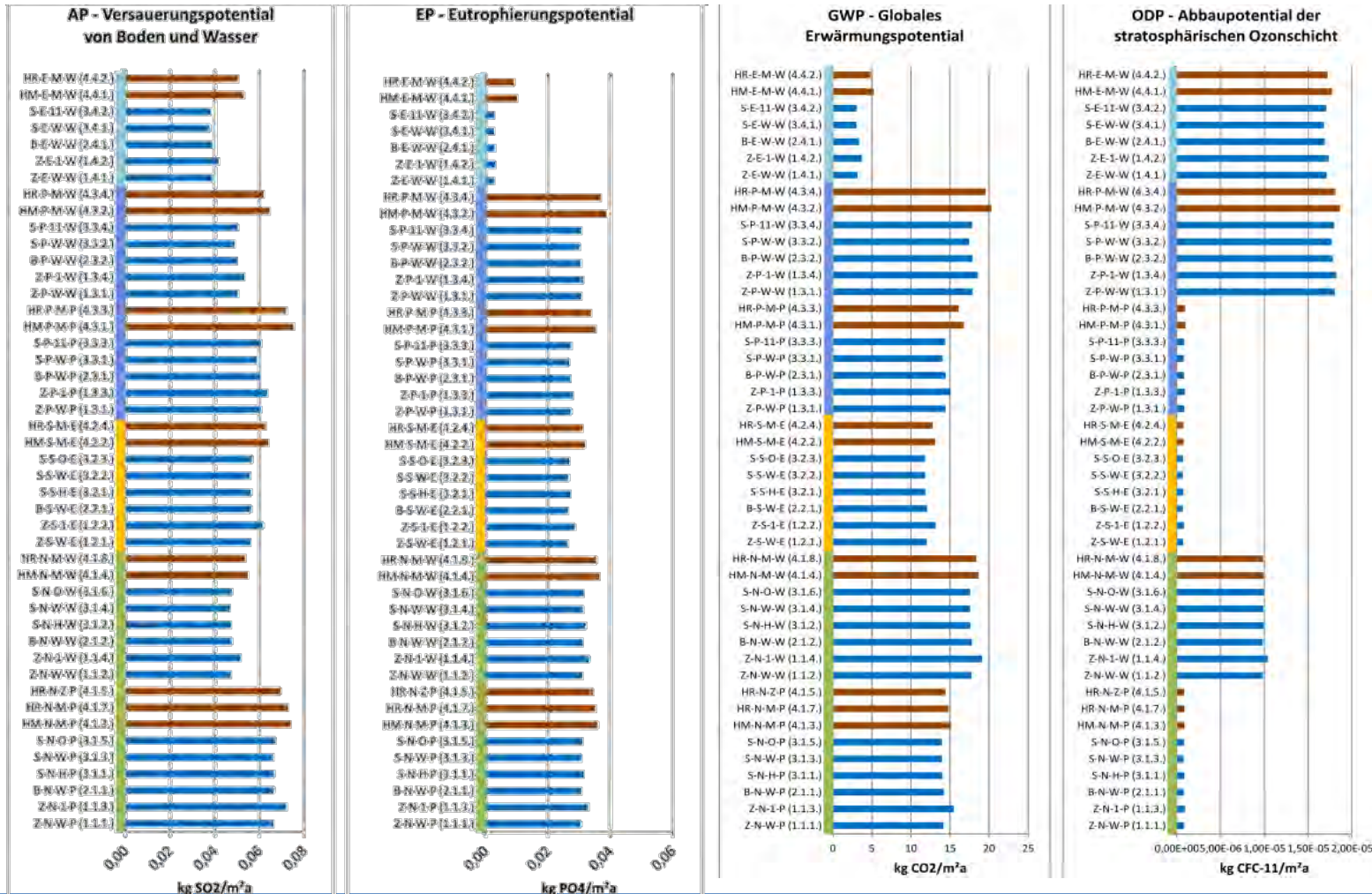


Abbildung 16: Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (CED non r.) und erneuerbar (CED r.) aller Haustechnikvarianten in Betonbauweise

## Ergebnisse (4.1) Ökobilanz LCA – Übersicht

Braune Balken mit EcoSoft v5.0

Blaue Balken mit ecoinvent v2.2



PEH

PH

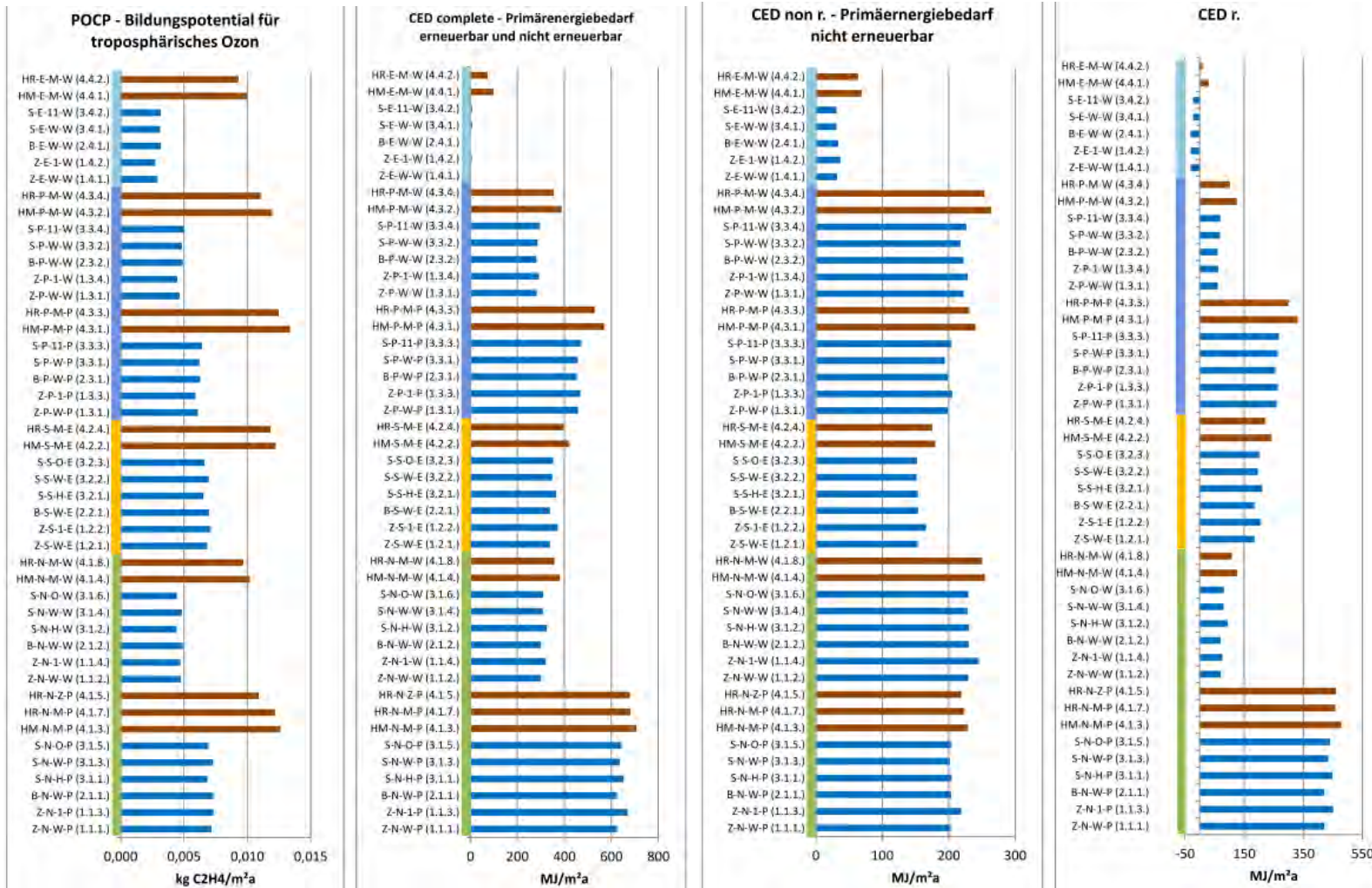
SH

NEH

# Ergebnisse (4.2) Ökobilanz LCA – Übersicht

Braune Balken mit EcoSoft v5.0

Blaue Balken mit ecoinvent v2.2



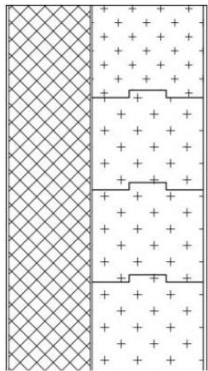


## Ergebnisse (5.1)

## Ökobilanz LCA

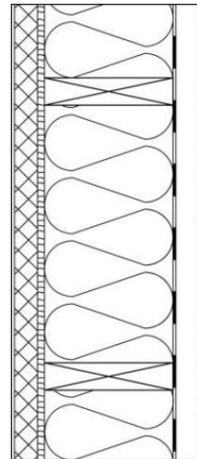
Datenbanken EcoSoft v5.0 und ecoinvent v2.2

### Ziegelaußenwand



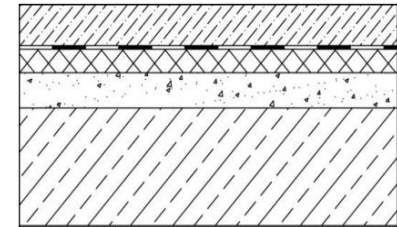
Silikatputz  
Glasfaserarmierung  
Putzspachtel  
Polystyrol expandiert (EPS) – F  
Fassadendämmplatte  
Putzspachtel  
Hochlochziegel  
Gipsputz

### 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  
Stahlbeton Decke  
Gipsspachtel

## Ergebnisse (5.2)

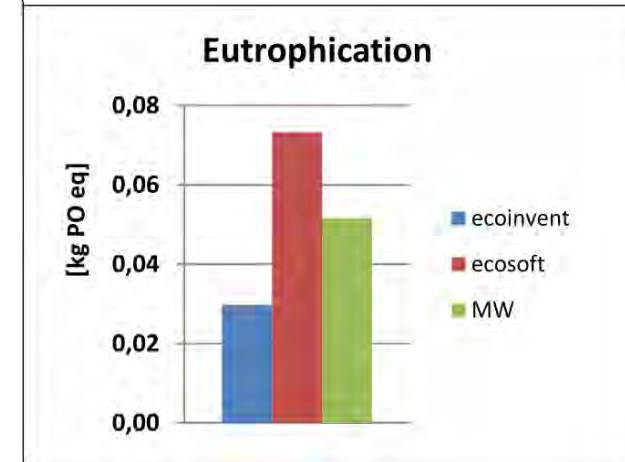
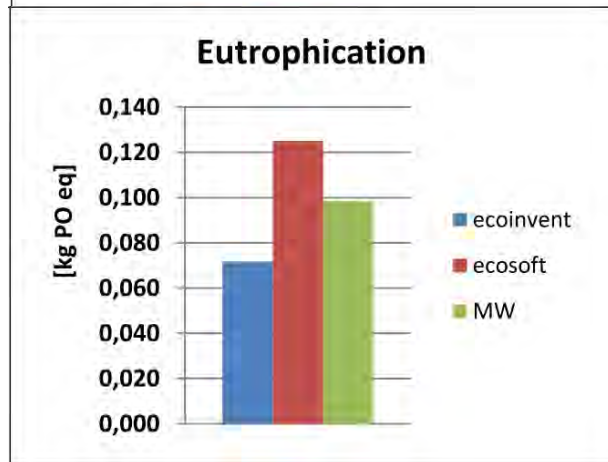
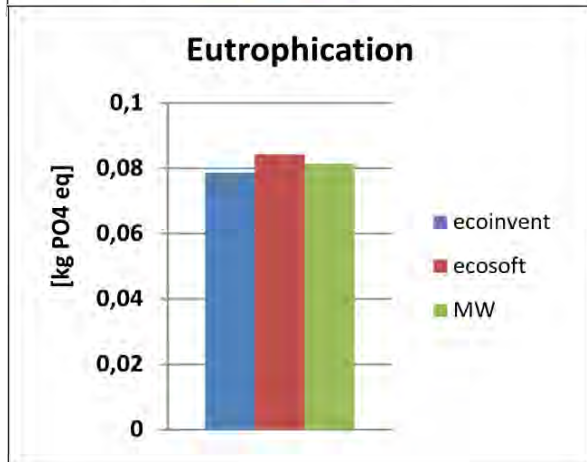
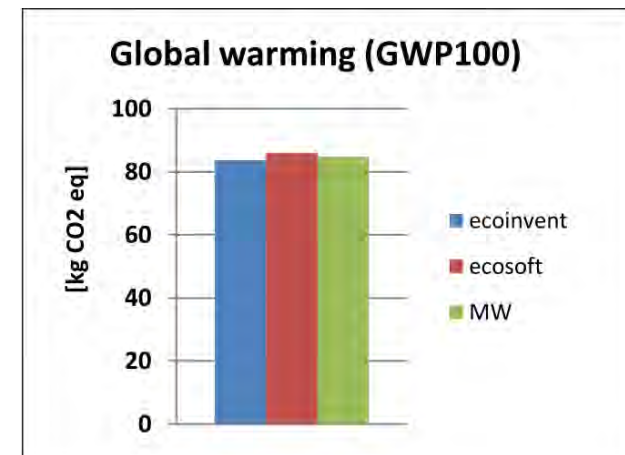
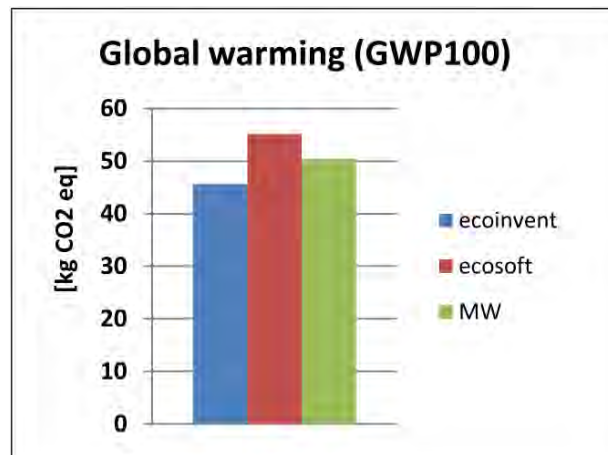
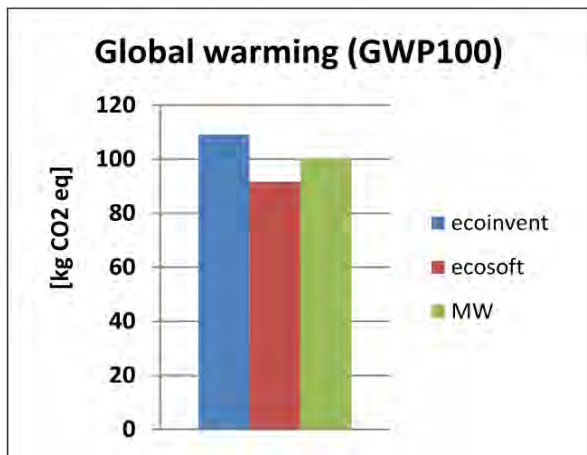
## Ökobilanz LCA

Datenbanken EcoSoft v5.0 und ecoinvent v2.2

Ziegelaußenwand

Holzrahmenaußenwand

Stahlbetondecke



## Ergebnisse (5.3)

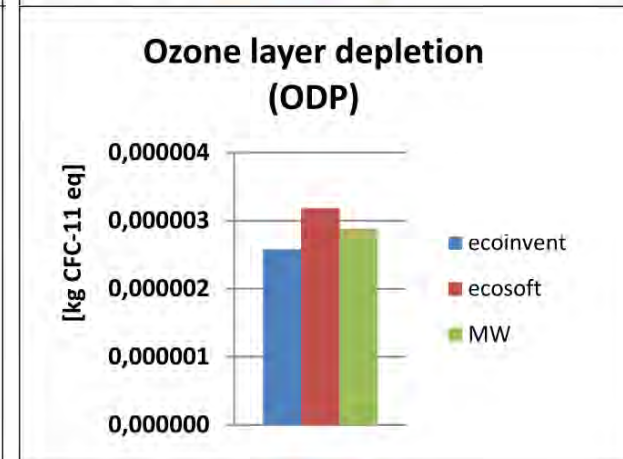
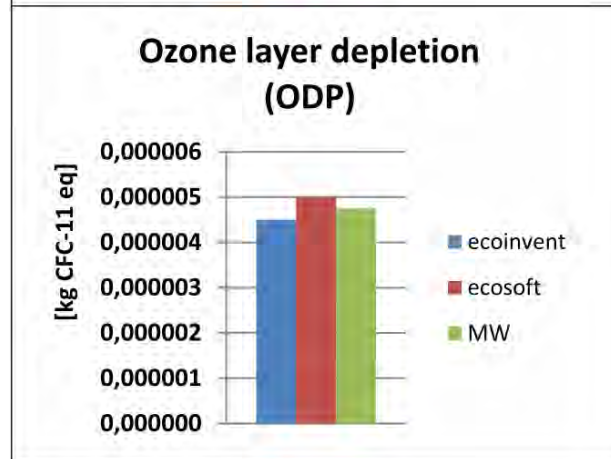
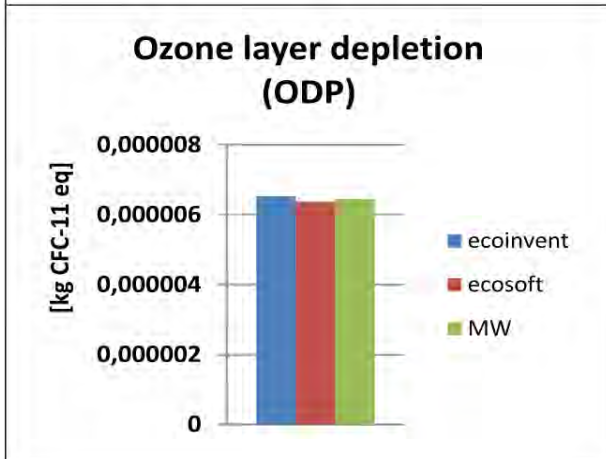
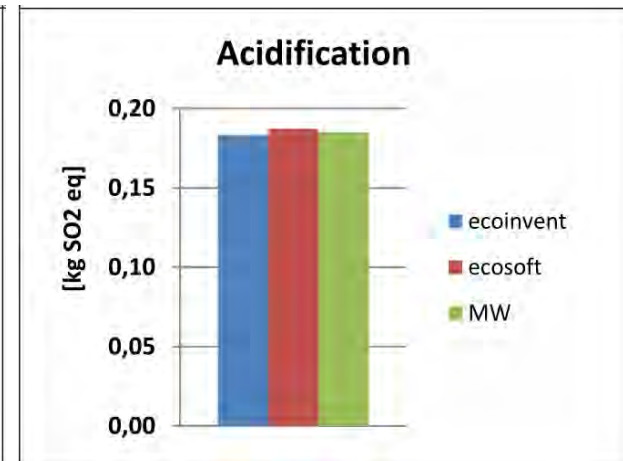
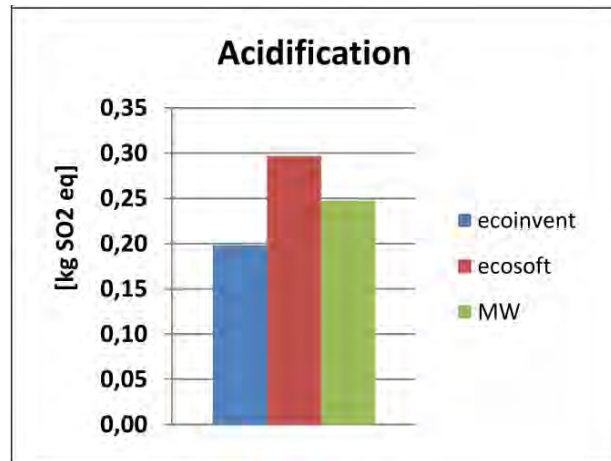
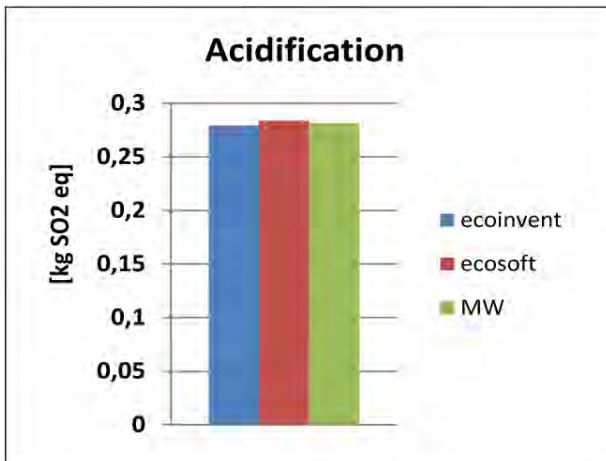
## Ökobilanz LCA

Datenbanken EcoSoft v5.0 und ecoinvent v2.2

Ziegelaußenwand

Holzrahmenaußenwand

Stahlbetondecke



## Ergebnisse (6.1)

## Lebenszykluskosten LCC

Barwert 50a

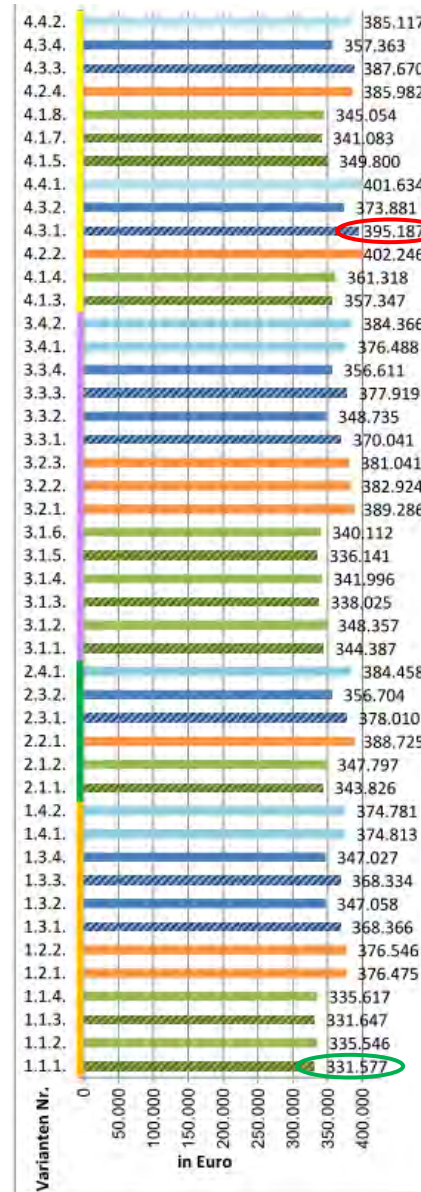
### Bauweisen

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

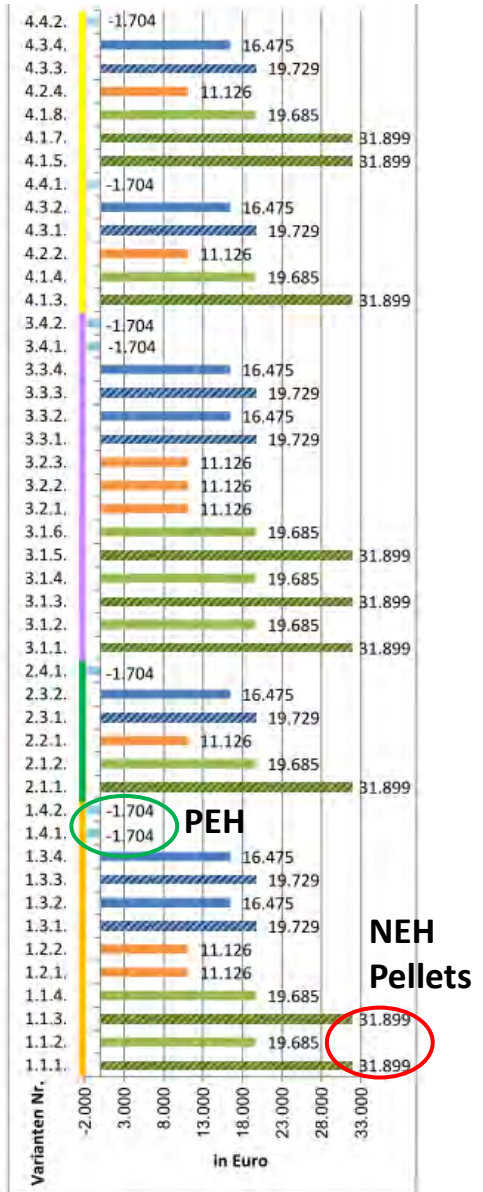
### Haustechnik-Varianten

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

Herstellungsphase A1-A3



Nutzungsphase B6



## Ergebnisse (6.2)

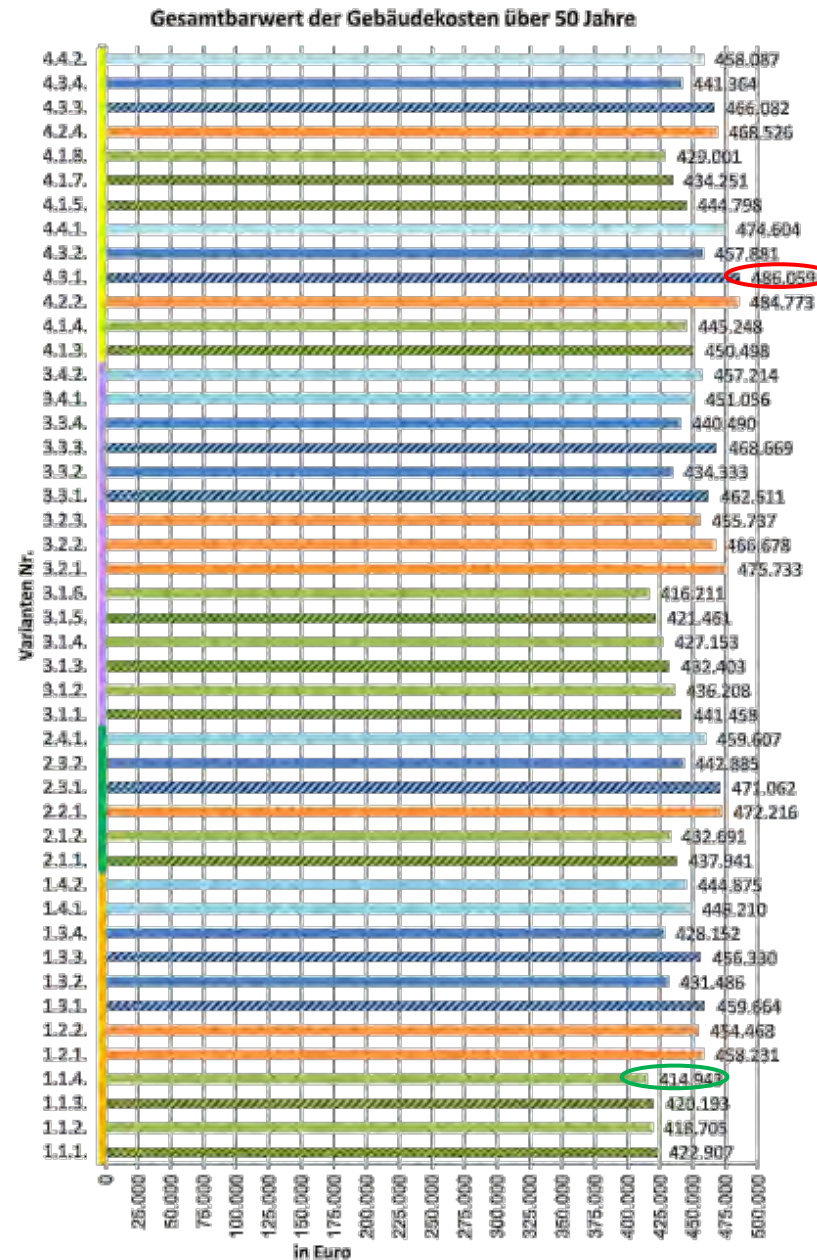
## Lebenszykluskosten LCC

### 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 / m<sup>2</sup> 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 Puchenu 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](http://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