

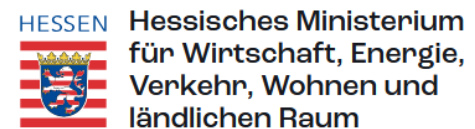


# Holzmodulbauschulen in Passivhausbauweise

Bearbeitung: Tanja Schulz, Magdalena Patyna,  
Johannes Seibert, Berthold Kaufmann



Das Projekt wurde gefördert vom



- ▶ **Weiterentwicklung und Anpassung von Holzmodulbaukonzepten** an Schulnutzung und **Passivhausstandard**
  - Optimierung Dämmstärke, Wärmebrücken, Luftdichtheit
  - Lüftung mit WRG
  
- ▶ **Sommerfall: Schulen in Holzmodulbauweise**
  - Verschattung und Nachtauskühlung nutzen
  - Temperierung über Lüftung möglich sofern Lasten gering bleiben
  
- ▶ Erproben der Kombination von **Vorfertigung** und **hoher Energieeffizienz** am konkreten Objekt
  
- ▶ Einfluss der Holzmodulbauweise auf den **Energieaufwand** im **gesamten Lebenszyklus**
  
- ▶ **Lebenszykluskosten** energetischer Standards
  
- ▶ **Planungsempfehlungen** für zukünftige Projekte





## GEG / Net Zero / KfW 55, 40 EE

- ▶ Bilanzierung nach GEG Referenzgebäudeverfahren
- ▶ Hauptanforderung: Primärenergiebedarf
- ▶ Nebenanforderung HT' Betrachtung nur der Gebäudehülle

**GEG** setzt auf die **Begrenzung des PE-Bedarfes**

⇒ Unterschiedliche Gebäudeeffizienz kombiniert mit EE-Versorgungslösung

## Passivhaus Classic / Plus / Premium

- ▶ Bilanzierung auf Basis des HWB
- ▶ Qualität der Gebäudehülle + Lüftung
- ▶ Optimierung hinsichtlich solarer Gewinne
- ▶ Berücksichtigung regenerativer Energien durch PH Klassen: **Classic, Plus oder Premium**
- ▶ **Efficiency first!**

**PH** setzt auf die **Begrenzung des Nutzenergie Bedarfes**

⇒ **Hohe Effizienz als Voraussetzung für eine regenerative Versorgung**

Heizwärmebedarf:

Passivhaus-Neubau Ziel: **15** kWh/(m<sup>2</sup>a)



Gymnasiale Oberschule Darmstadt – Massivbau 2025  
Passivhaus Plus (ID 7736)

Heizwärmebedarf:

Sanierung (EnerPHit) Ziel: **25** kWh/(m<sup>2</sup>a)

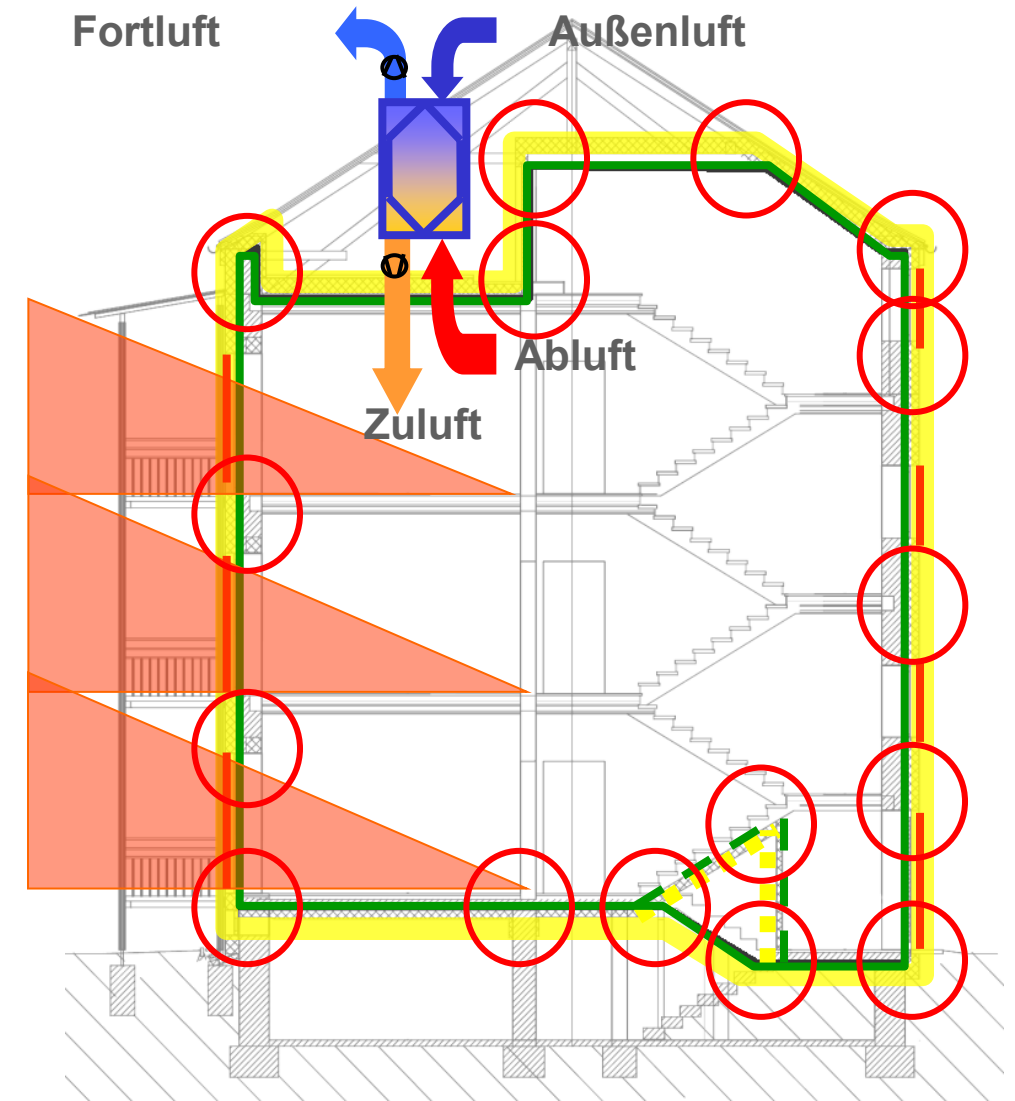


Passivhaus Altbauanierung Baesweiler (ID 1804)



Die Komponenten:

- ▶ Wärmedämmung opaker Bauteile:  
 $U \leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- ▶ Wärmedämmung von Fenstern:  
 $U_{\text{W,eingebaut}} \leq 0,85 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- ▶ Wärmebrückenfreie Konstruktion  
 $\Psi\text{-Werte} < 0,01 \text{ W}/(\text{mK})$
- ▶ Luftdichte Gebäudehülle  
 $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$  (für großvolumige Gebäude  
Zielwert  $0,3 \text{ h}^{-1}$ )
- ▶ Lüftung mit **WRG**  $\eta_{\text{WRG}} \geq 75\%$   
Ziel: **80%**
- ▶ Behaglichkeitskriterium im Sommer:  
Übertemperaturhäufigkeit  $\leq 10 \%$



Zeichnung im Hintergrund: © Schulze Darup



## Warum vorgefertigter Holzbau?

- ▶ Kurze Bauzeiten
- ▶ Nachhaltiger Baustoff
- ▶ Gesicherte und geprüfte Qualität

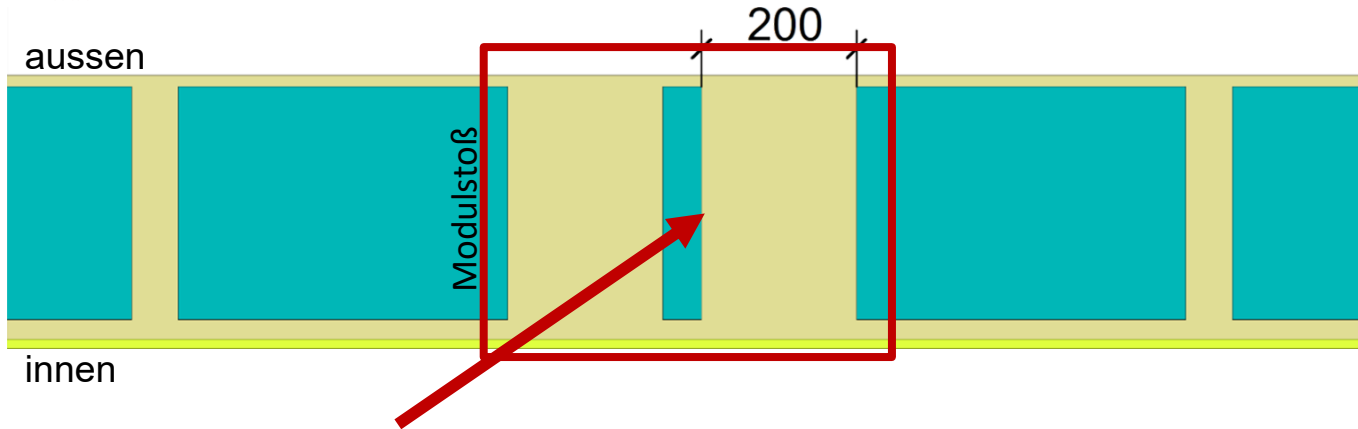
## Welche Lösungen braucht es?

- ▶ Sommer
- ▶ Luftdichtheit
- ▶ Wärmebrücken





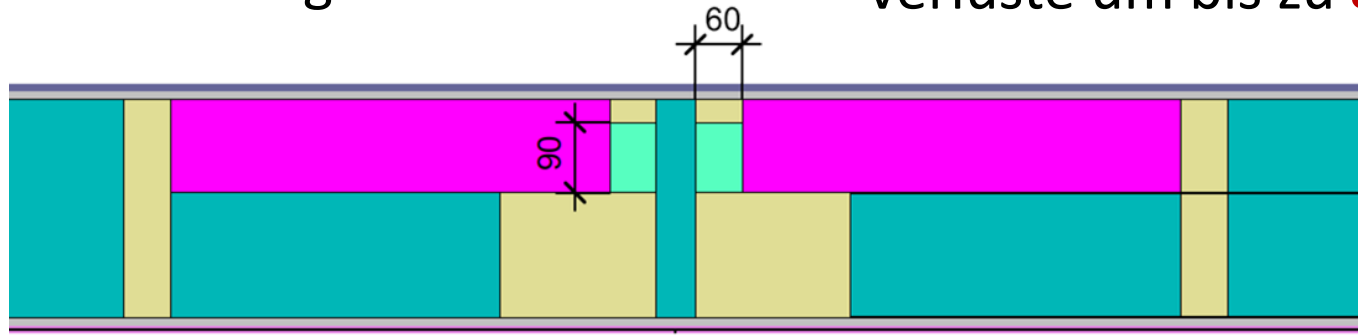
# 3D-Raummodule - Modulstoß



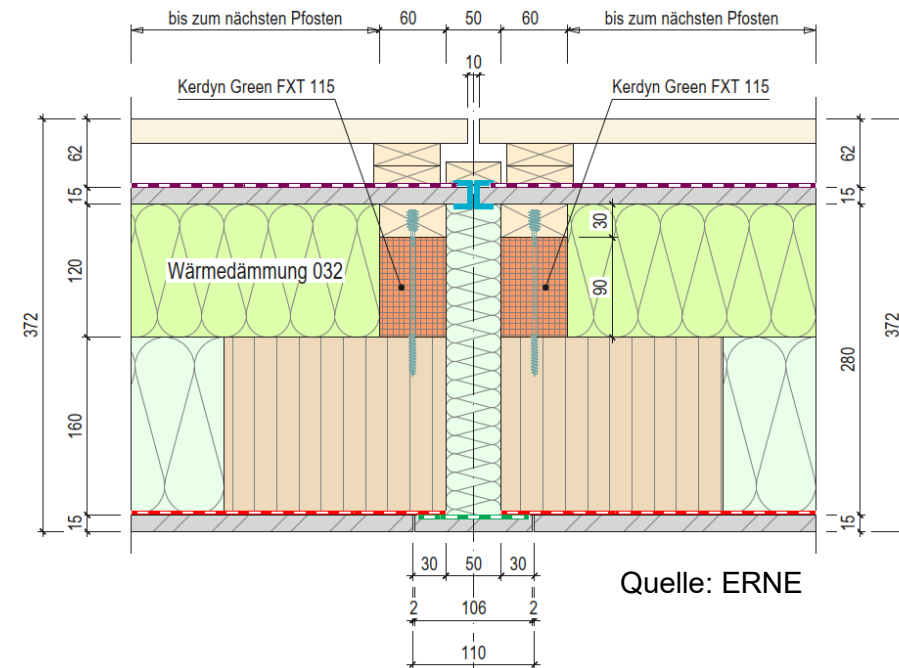
Quelle: ERNE

Große Holzquerschnitte zur Lastabtragung und Aussteifung im Stoßbereich

Stoßbereich überdämmt  
Reduzierung der Wärmeverluste um bis zu **82%**



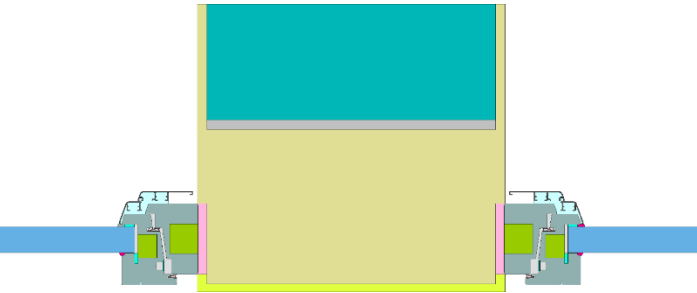
Material	$\lambda$ [W/(m·K)]
Gipsfaserplatte	0,350
Insulation Wärmedämmung 032	0,032
Kerdyn Green 037	0,037
Mineralwolle 036	0,036
Softwood, OSB   Weichholz, OSB 10456	0,130



Quelle: ERNE

## Typische Konstruktionen

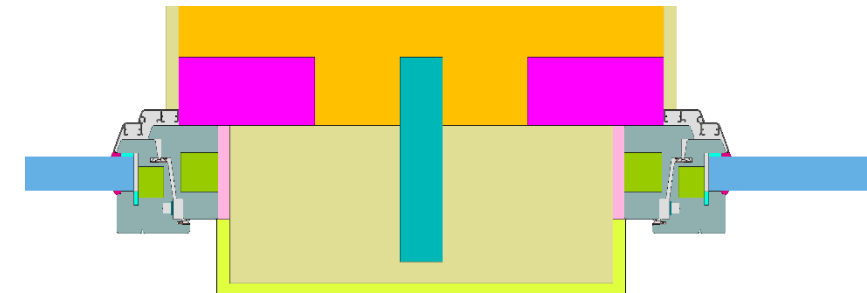
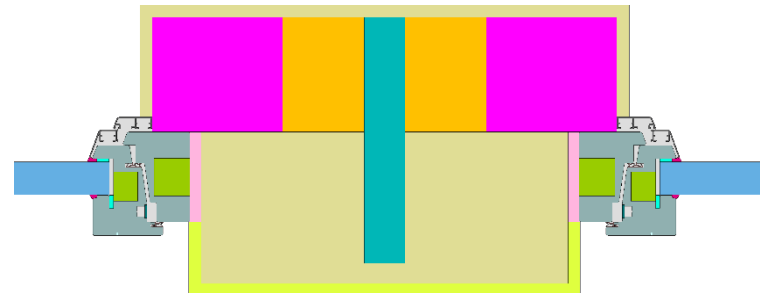
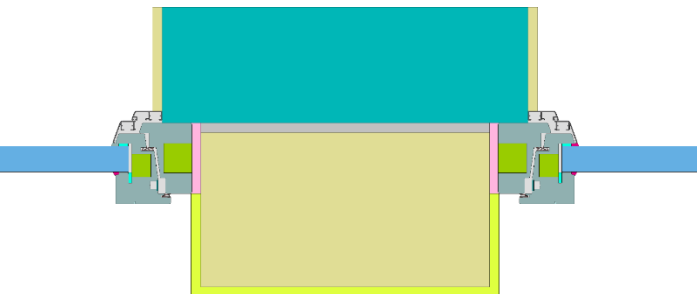
Brettsper Holz



Holzständerkonstruktion



Holzständer mit Weichfaserplatte



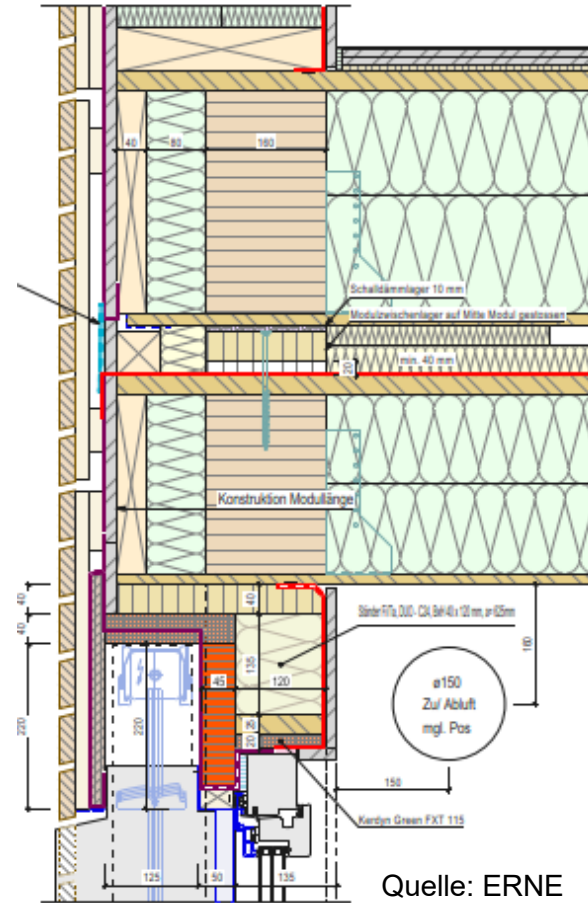
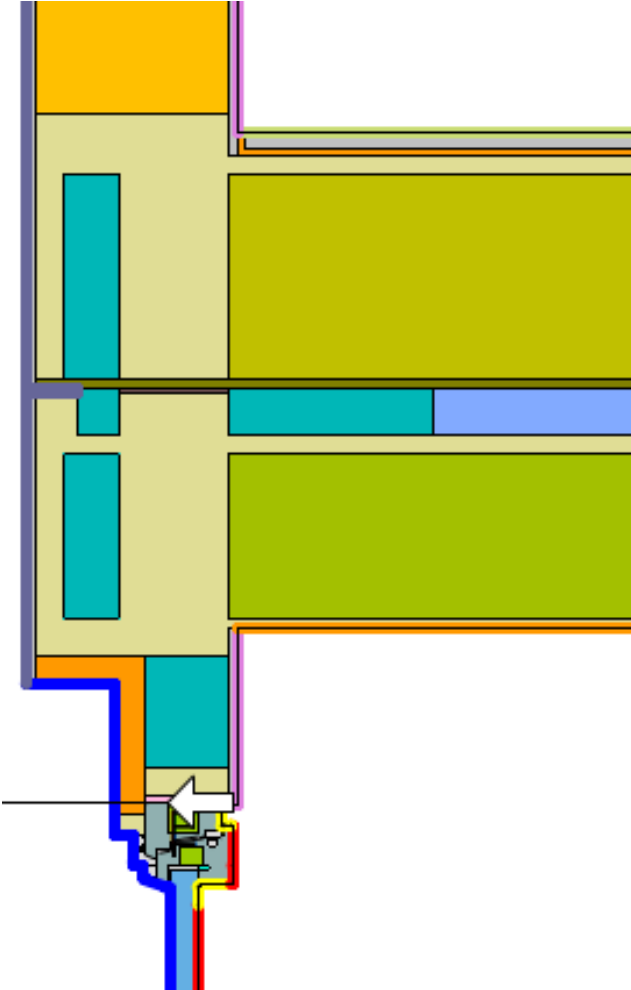
Reduzierung des  $\Psi$ -Wertes um

**84%**

**70%**

**82%**





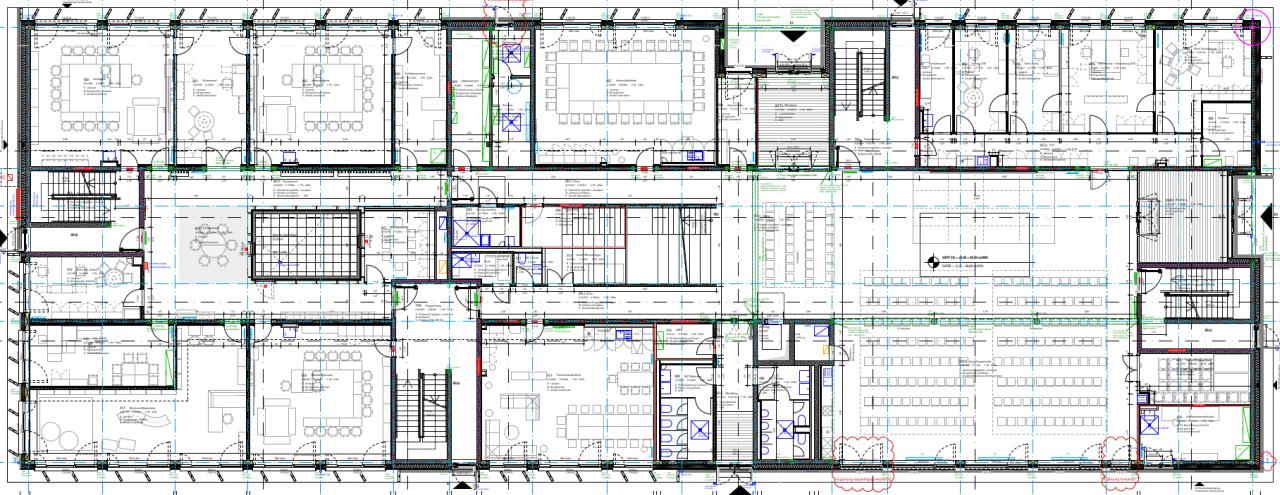
## Geschossdecken

Zwei Modulelemente werden aufeinandergesetzt

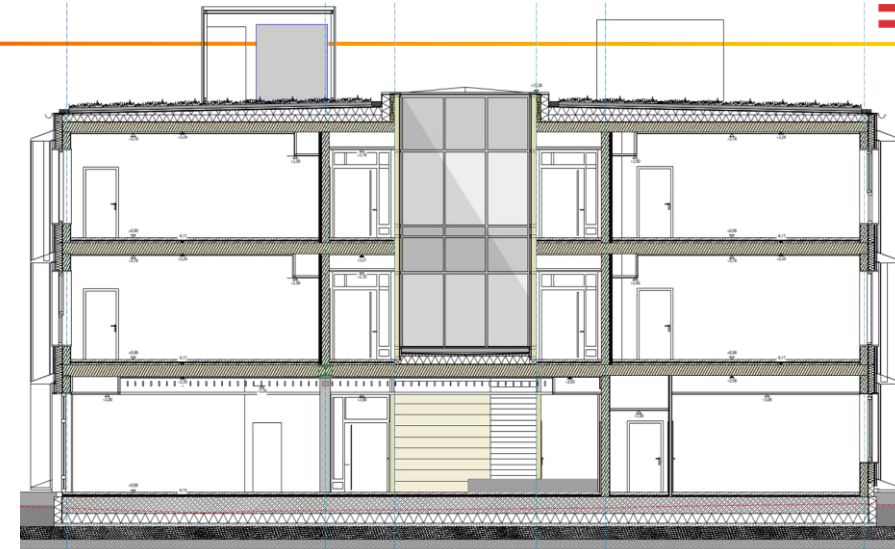
Reduzierung der Wärmebrücke:

- Traghölzer so weit wie möglich nach innen
- Überdämmung außen

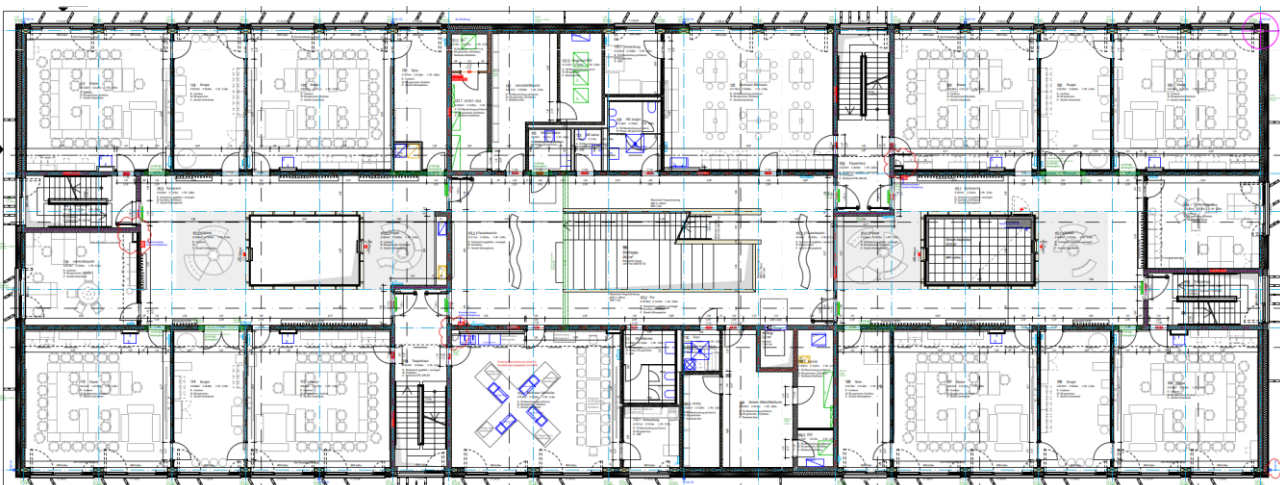
# Neue Grundschule in Raunheim - Massivholzbauweise



**Erdgeschoss**



- ▶ **Grundschule mit 16 Klassenräumen (4 Cluster)**
- ▶ **Aula und Ganztag**

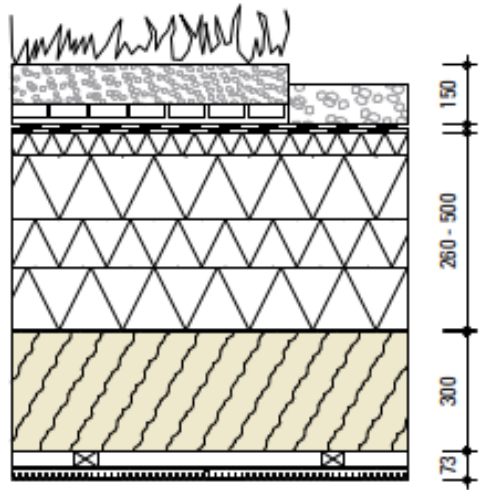


**1. und 2. Obergeschoss**





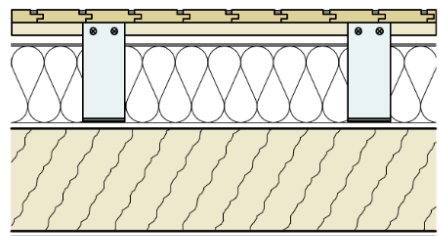
## DACH - MASSIVHOLZ



- ▶ Brettsperrholz Wände und Decken
- ▶ Stahlbeton TRH-Kerne
- ▶ Maßnahmen für den Sommerfall:  
Verschattung / Nachtauskühlung

## AUSSENWAND TRAGEND/NICHT TRAGEND - MASSIVHOLZ

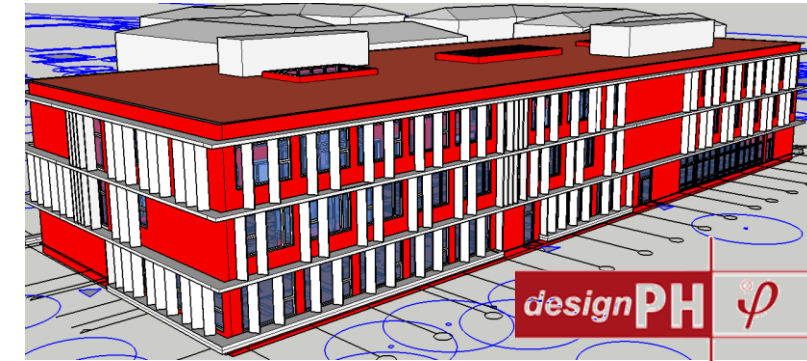
Achse 1 + 6



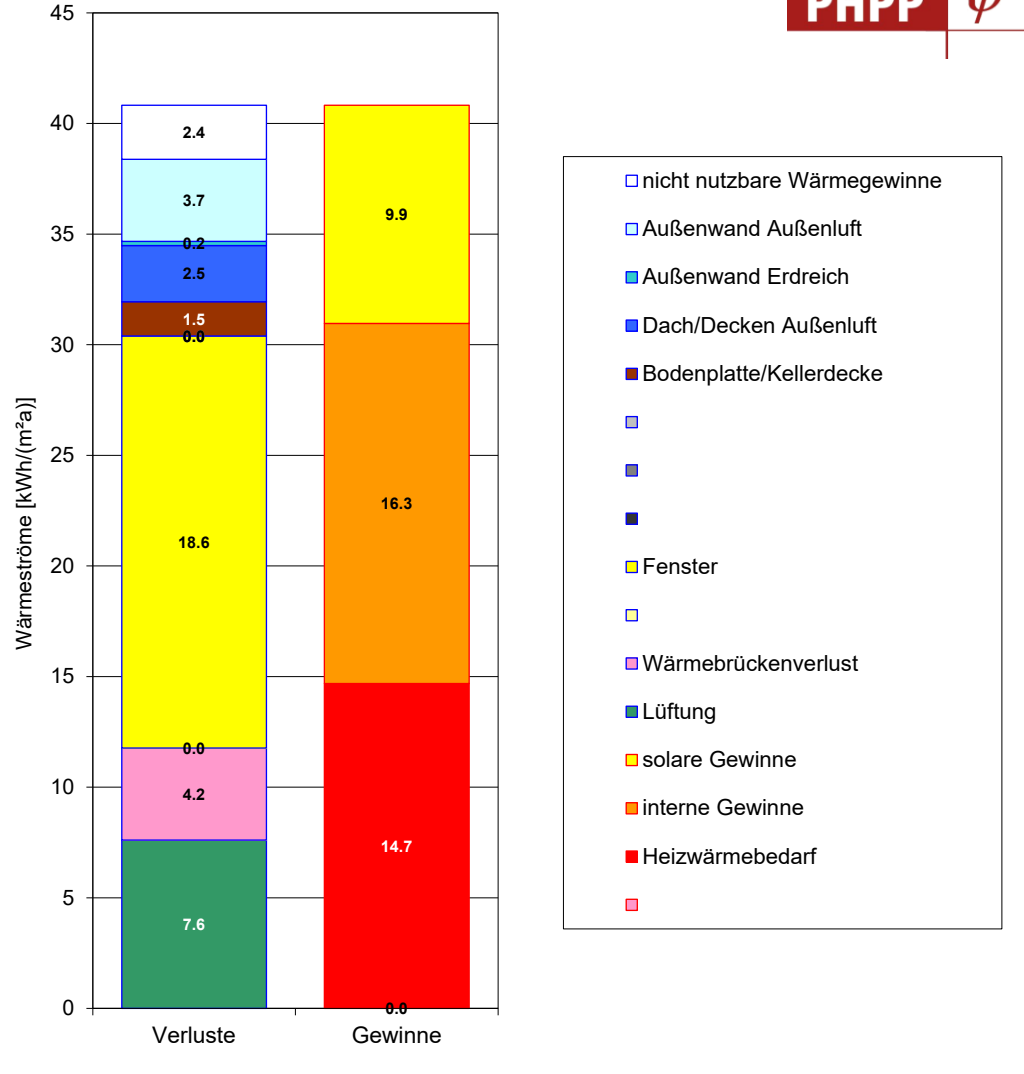
Aufbau außen nach innen

- 30 Fassade, VHF Holzschalung
- 50 UK/Hinterlüftungsschicht
- 5 Fassadenbahn ?
- 180 Dämmung MW 035, nb
- 15 Brandschutzbekleidung gemäß BSK/M
- 240 tragende Außenwand, Brettsperrholz
- 12,5 GKB 1x 12,5mm

U-Wert: 0,14 W/m2K



Energiebilanz Heizwärme (Monatsverfahren)



► Heizwärmebedarf < 15 kWh/(m²a)

► Luftdichtheit (n<sub>50</sub>-Wert) = 0,4 h<sup>-1</sup>

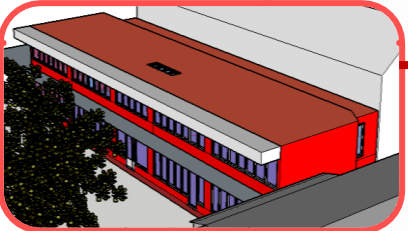
► PH-Gebäudehülle

	U-Wert W/(m²K)
Außenwand Außenluft	<b>0.154</b>
Außenwand Erdreich	<b>0.117</b>
Dach/Decken Außenluft	<b>0.088</b>
Bodenplatte/Kellerdecke	<b>0.117</b>
Fenster	<b>0.805</b>
<hr/>	
Wärmebrücken	<b>0,019</b>



# Astrid-Lindgren-Schule - Holzleichtbau

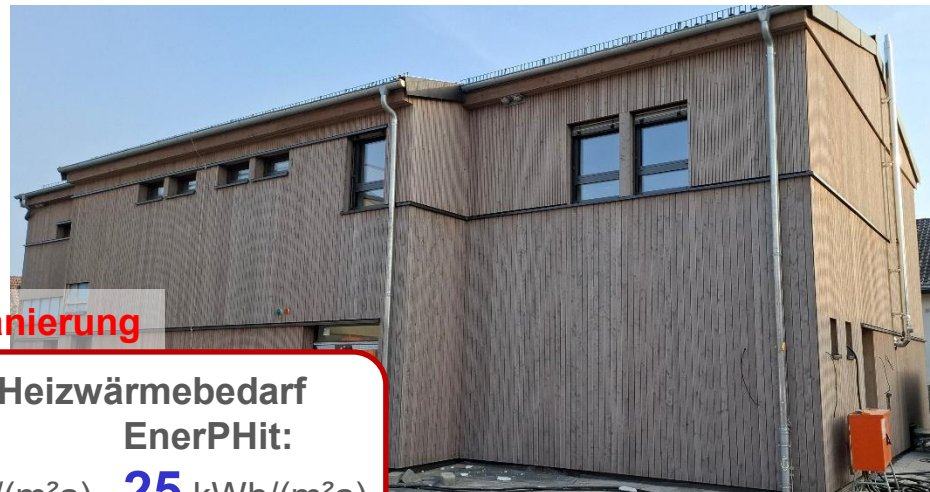
## Passivhaus Plus



## Schrittweise Sanierung



Beide Bauprojekte erhalten  
Fördermittel vom Land  
Hessen (Kommunalrichtlinie)



## EnerPHit Sanierung

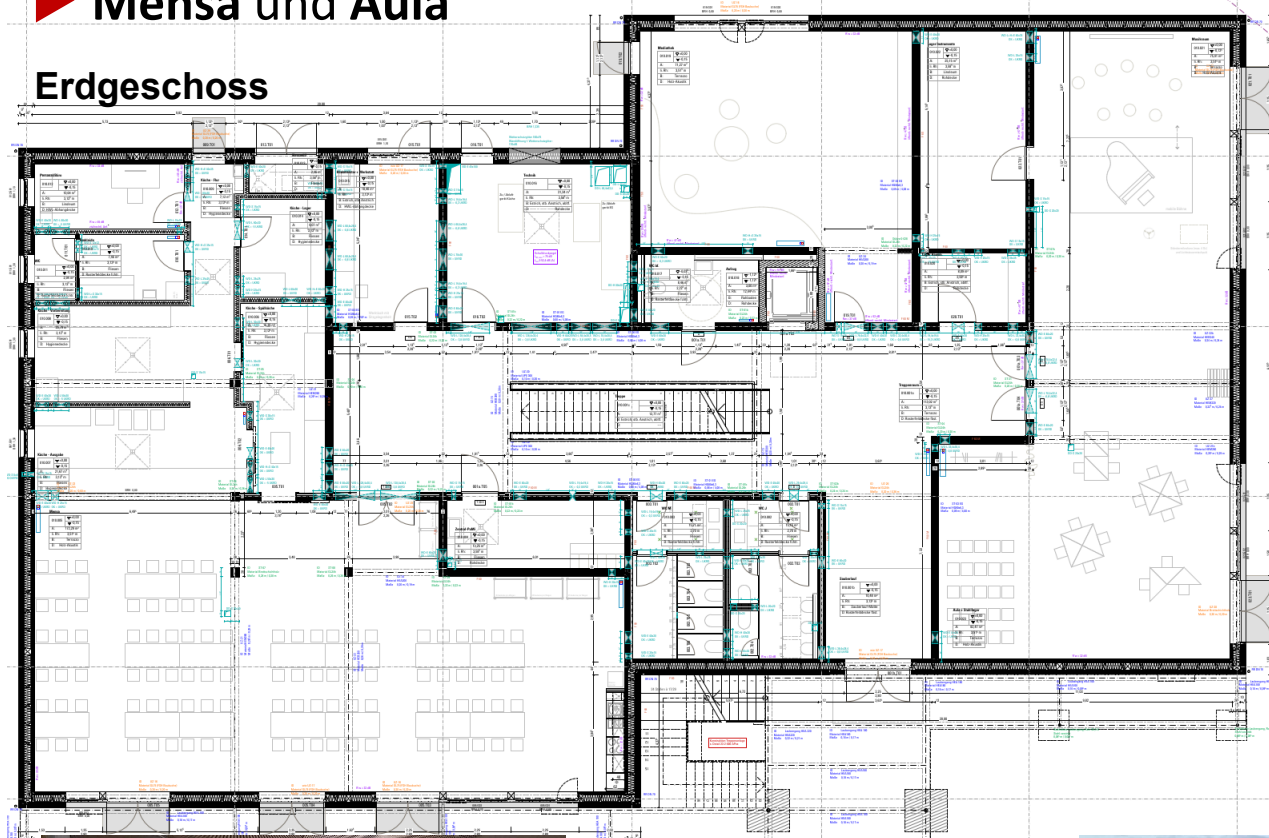
Vergleich Heizwärmebedarf  
Bestand: **115** kWh/(m<sup>2</sup>a) EnerPHit: **25** kWh/(m<sup>2</sup>a)



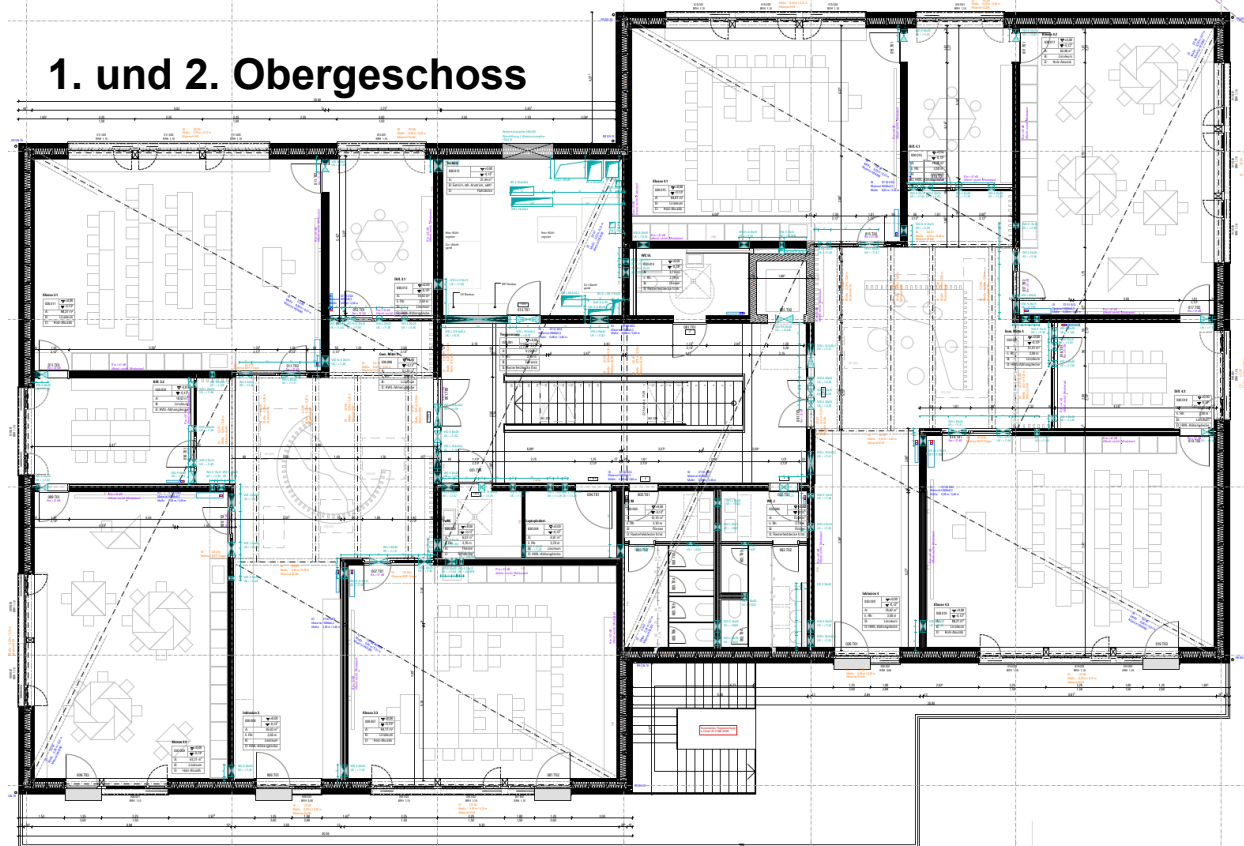
# Astrid-Lindgren-Schule - Holzleichtbau

- ▶ Grundschule mit 12 Klassenräumen (4 Cluster)
- ▶ Mensa und Aula

Erdgeschoss



1. und 2. Obergeschoss





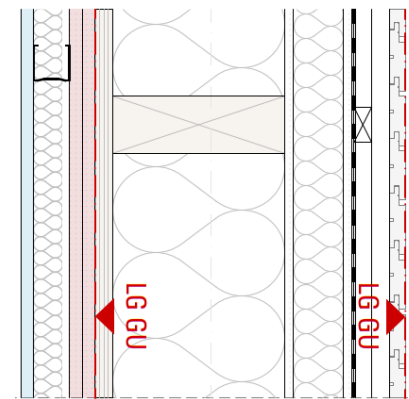


- ▶ Heizwärmebedarf < 15 kWh/(m<sup>2</sup>a)
- ▶ Luftdichtheit (n<sub>50</sub>-Wert) = 0,3 h<sup>-1</sup> / q<sub>E50</sub> = 0,71 m<sup>3</sup>/(hm<sup>2</sup>)
- ▶ PER Bedarf 51 kWh/(m<sup>2</sup>a) / PER Erzeugung 85 kWh(m<sup>2</sup>a)
- ▶ **Passivhaus-Plus Standard**  
(Fördervoraussetzung nach Hessischer Kommunalrichtlinie)

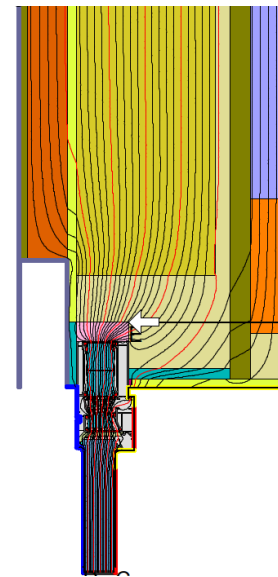


- ▶ **U-Wert  $\leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$**
- ▶ **Wärmebrückenfreie Konstruktion**
  - Deckeneinbindung
  - Sockel
  - Übergang zum Dach

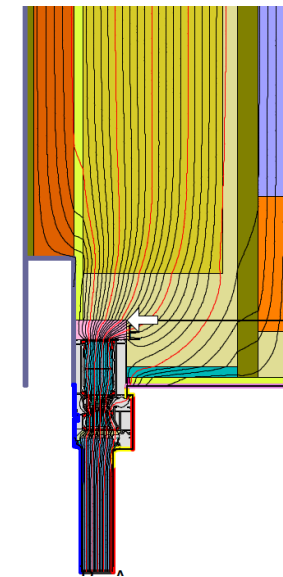
- ▶ **Gute wärmegeämmte Fenster**  
 Besonders wichtig bei Aluminiumrahmen
  - Einbau in der Dämmebene
  - Rahmenverbreiterungen aus hochfester Wärmedämmung



- ✓ Überdämmen der Traghölzer
- ✓ Fenstereinbau optimieren  
→ Alu-Rahmen
- ✓ Wärmebrücken reduzieren  
→ Sockel  
→ Übergang zum Dach  
→ Stahlträger in der Dämmebene



$\psi=0,037 \text{ W}/(\text{mK})$

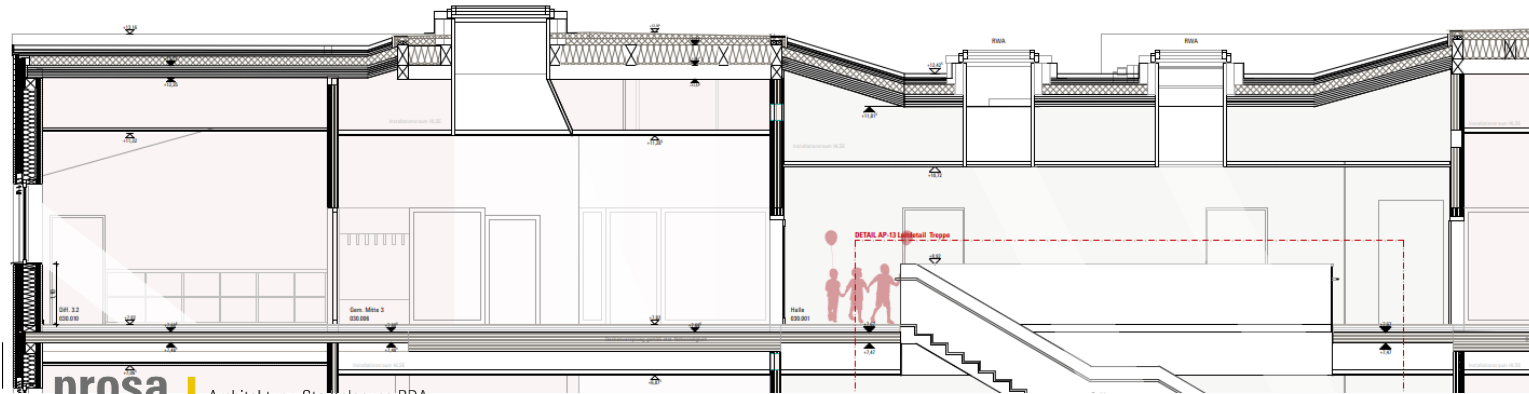


$\psi= 0,046 \text{ W}/(\text{mK})$

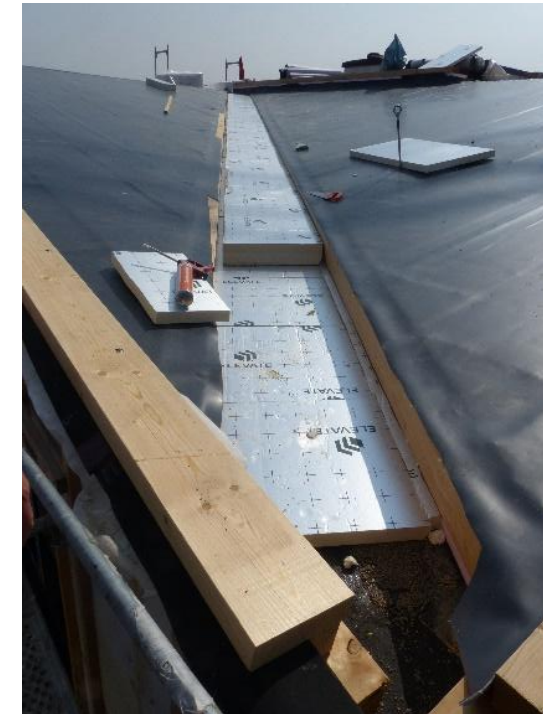
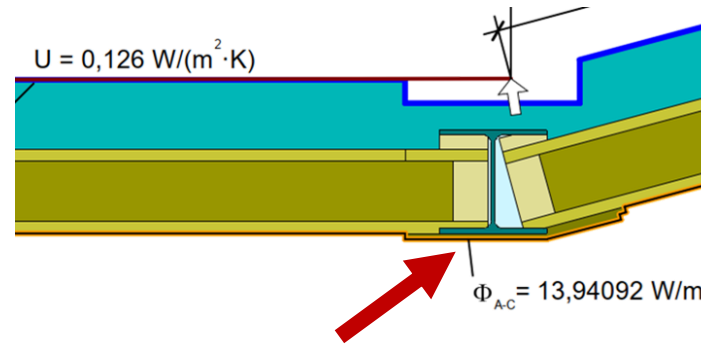
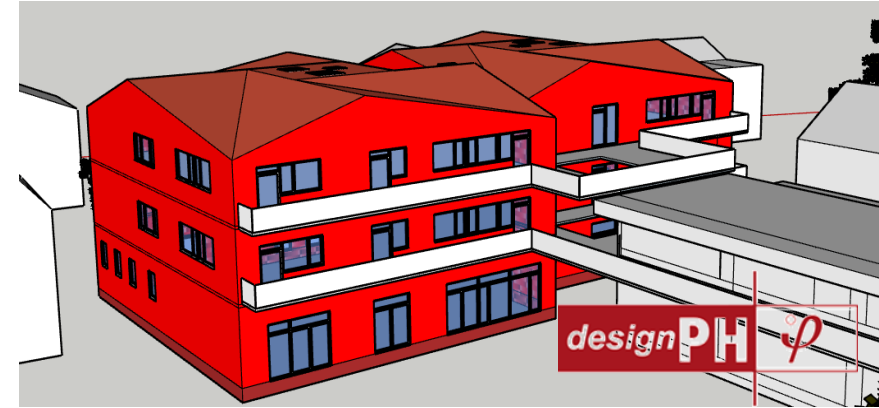


Quelle blaugelb®





**prosa** | Architektur + Stadtplanung BDA  
 Quasten Rau PartGmbH

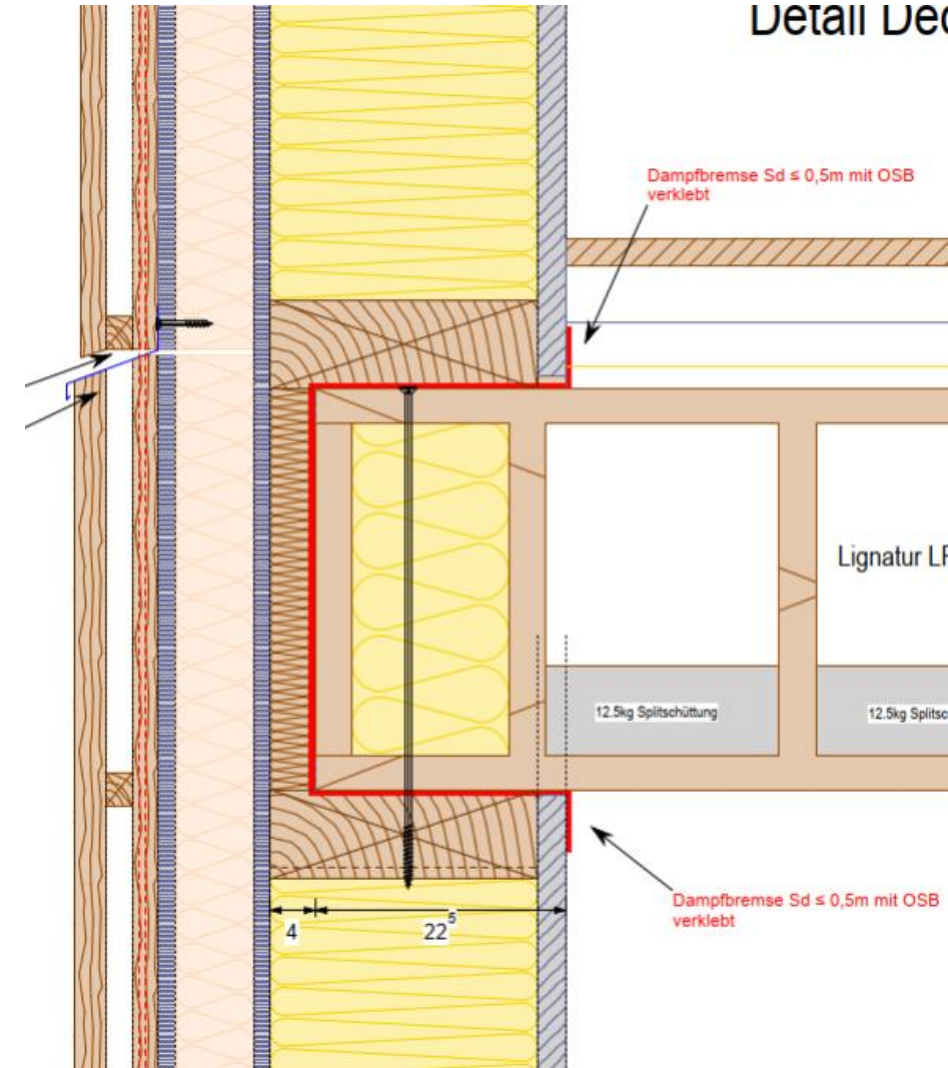




## ► Geschossübergang

## ► Fenstereinbau

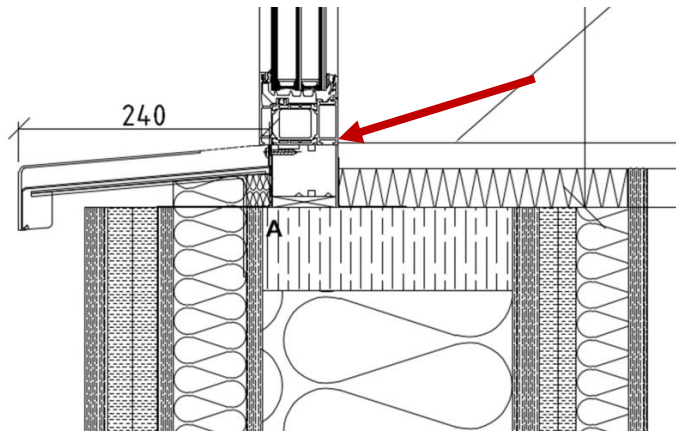
## ► Übergang Wand an Dach



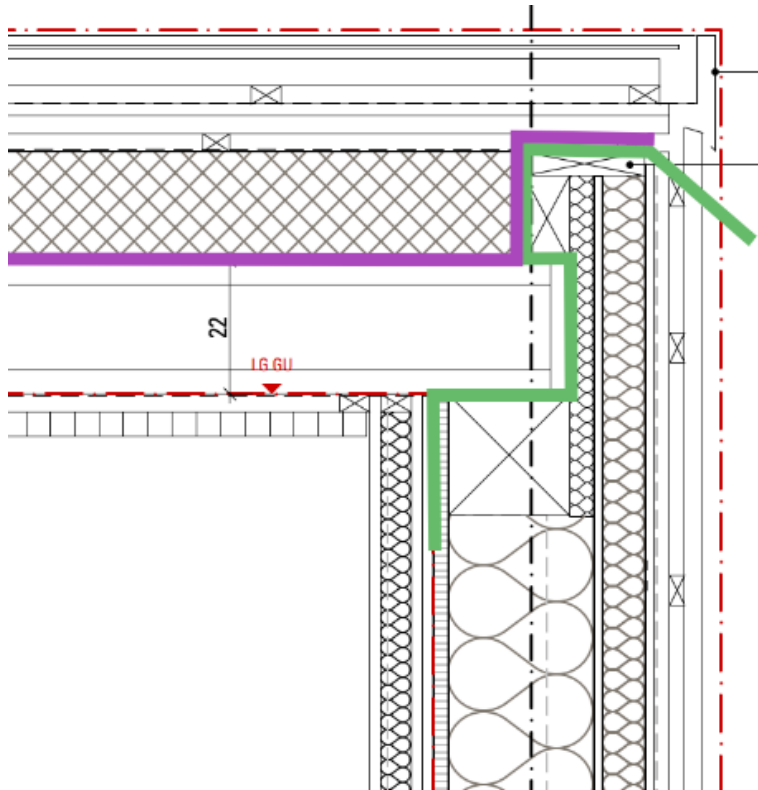




- ▶ Geschossübergang
- ▶ **Fenstereinbau**
- ▶ Übergang Wand an Dach



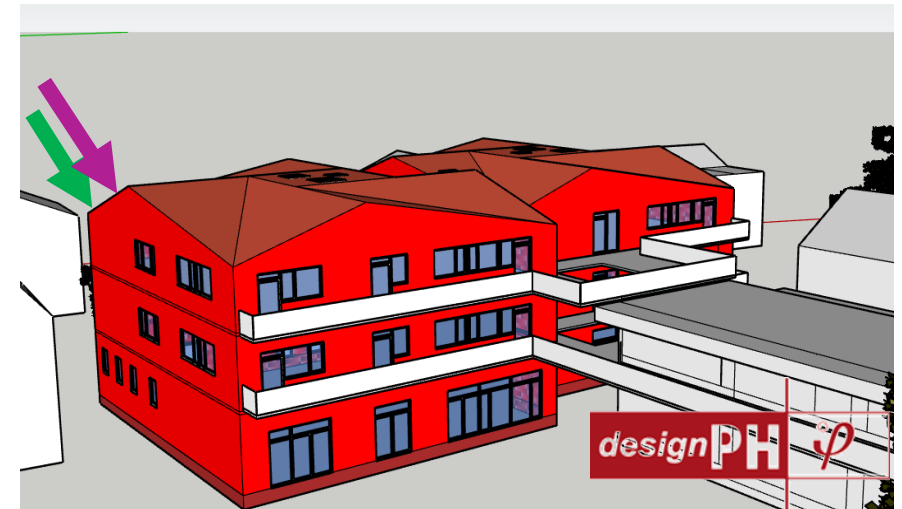


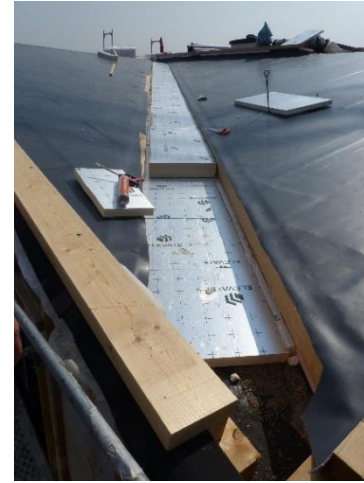
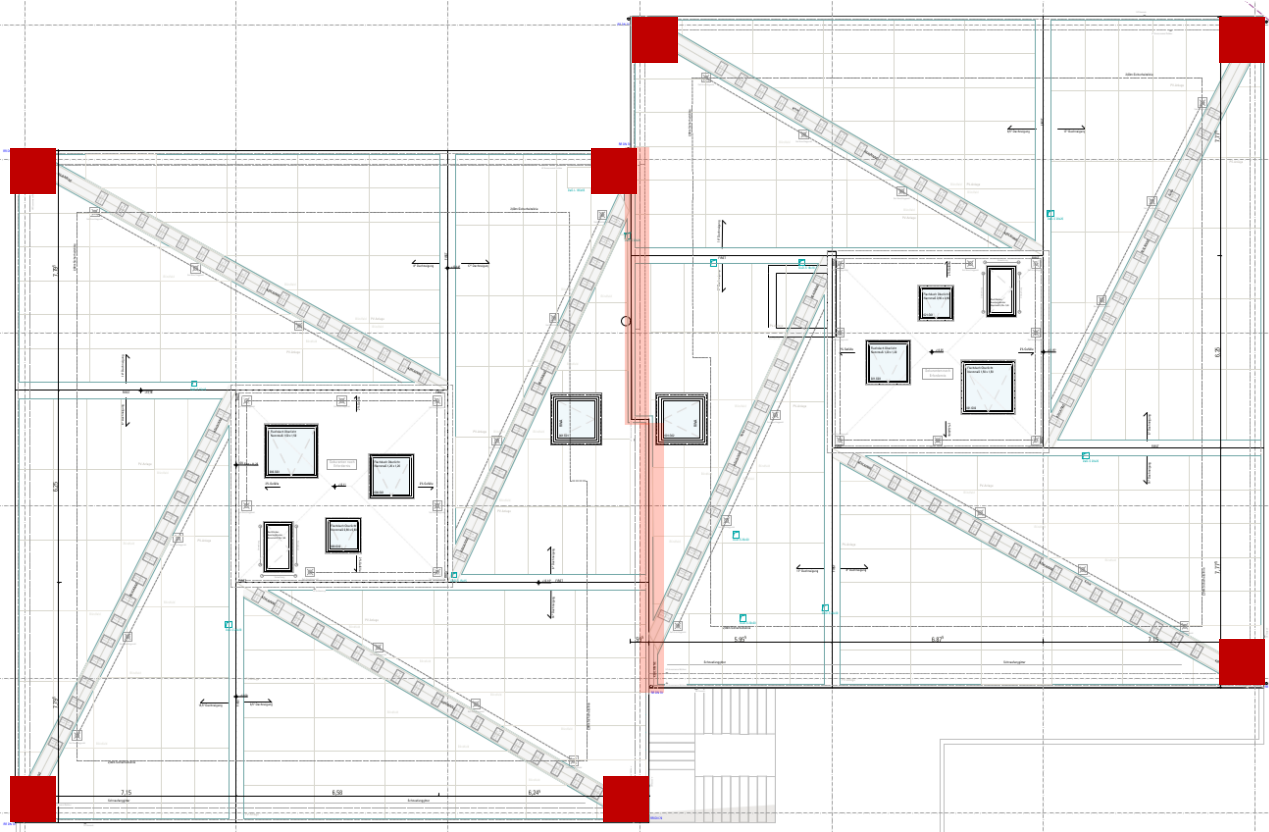


▶ Geschossübergang

▶ Fenstereinbau

▶ Übergang Wand an Dach





▶ 8 Regenwasserkästen

▶ Keine Werkstattplanung  
für 3D- Detail

▶ Detail wurde auf der  
Baustelle ‚irgendwie‘  
gelöst





Vortest zur  
Qualitätssicherung

**$n_{50}$ -Wert: 0,42 h<sup>-1</sup>**

Abnahmetest nach Beseitigung  
der wesentlichen Leckagen

**$n_{50}$ -Wert: 0,31 h<sup>-1</sup>**

Frühzeitige und regelmäßige Qualitätssicherung  
(z.B. Blower Door Test) zahlt sich aus.



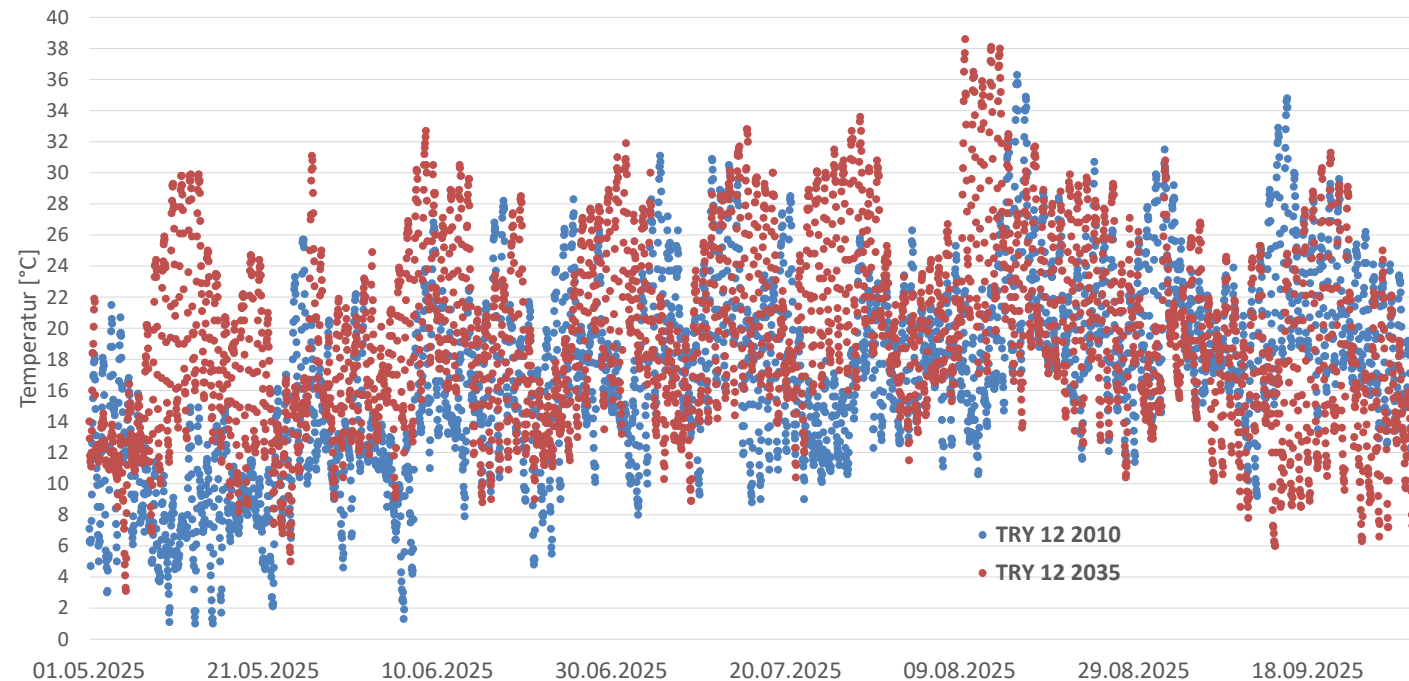


- ▶ Passivhausgeeignete U-Werte sind bei Holzmodulbauten leicht erreichbar. Sie liegen um  $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  oder sogar deutlich darunter.
- ▶ Optimierungspotentiale der Holzmodule liegen vor allem im Bereich der Wärmebrücken (Lage der Traghölzer).
- ▶ Bei 2D-Elementen: Gewerkeübergreifende Details v.a. hinsichtlich Luftdichtheit gut planen und qualitätssichern  
→ Fensteranschlüsse, Dachanschluss
- ▶ Fenstereinbauwärmebrücke v. a. bei Aluminiumfenstern optimieren.

► Maßnahmen für guten Sommerkomfort werden immer wichtiger

- Anzahl der heißen Tage (> 30 °C) steigt
- Nachtkühlpotential wird geringer – Anzahl der Tropennächte steigt

Bezeichnung	Klimaperiode	Testreferenz Jahr	Anzahl „heißer Tage“
TRY 2003	1960 bis 1990	TRY von 2003	8
TRY 2011	1988 bis 2007	TRY von 2011	10
TRY 2035	Klimaprojektion für 2035	TRY von 2011	28



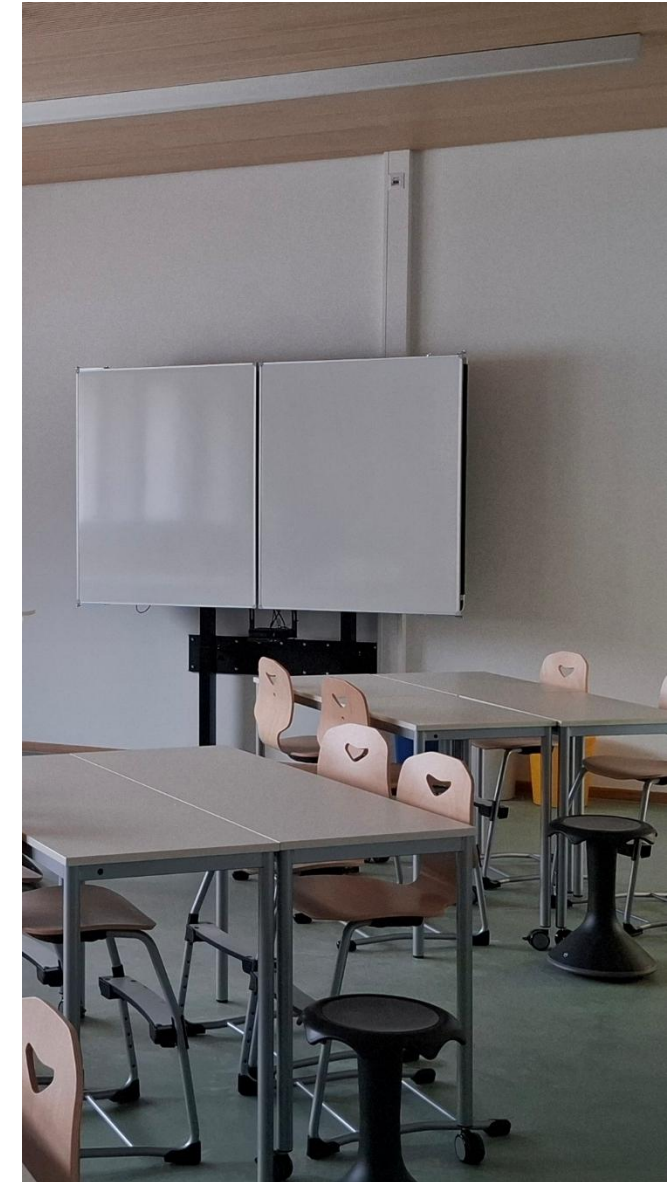


## ► Bewährte Maßnahmen für guten Sommerkomfort

### ① Reduzierung der Wärmeeinträge

- **interne Wärmeeinträge** → effiziente Stromanwendungen
- **solare Wärmeeinträge** → gute außenliegende Verschattung und passende Regelstrategie + moderate Fensterflächen
- **Transmissionswärmeeinträge** → wärmegeämmte Hülle + helle Oberflächen / Begrünung

### ② Nutzung passiver Maßnahmen zur Wärmeabfuhr (z. B. das Lüftungskonzept)



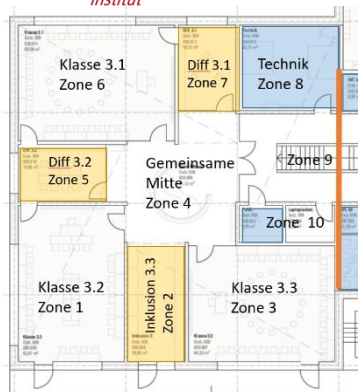
# Beispiel Neue Grundschule in Raunheim



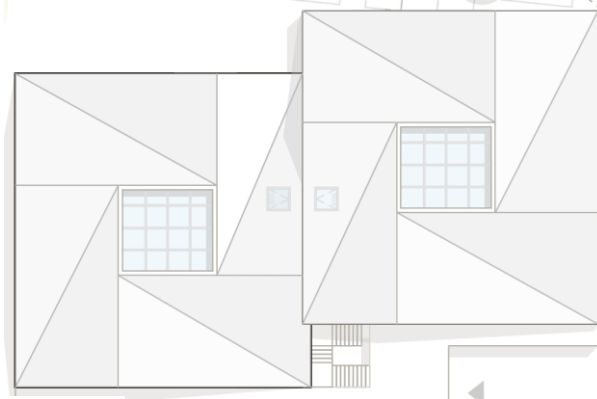
- ▶ Außenliegende Verschattung
  - Variable Verschattung (Jalousie)
  - Feststehende Verschattung (Lamellen)
- ▶ Nachtlüftungsklappen (inkl. Einbruchsschutz)
  
- ▶ Das Öffnen und Schließen wird von der Schulgemeinde übernommen
- ▶ Zur Unterstützung kann die Lüftungsanlage im Abluftbetrieb genutzt werden



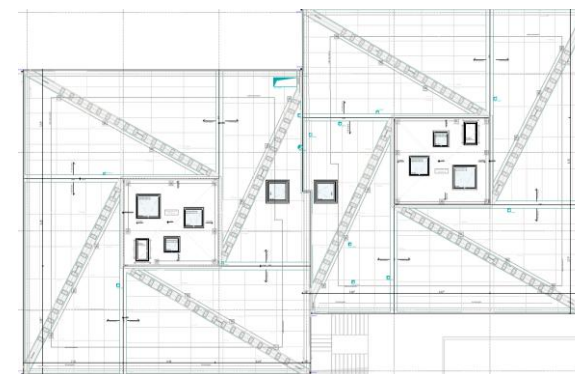
# Schulen im Holzbau - Sommer



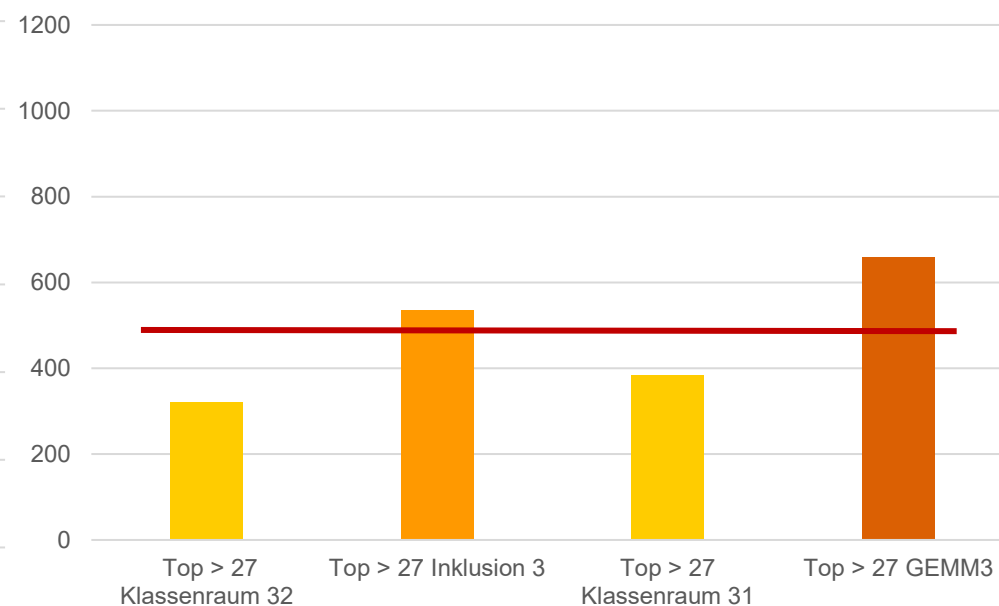
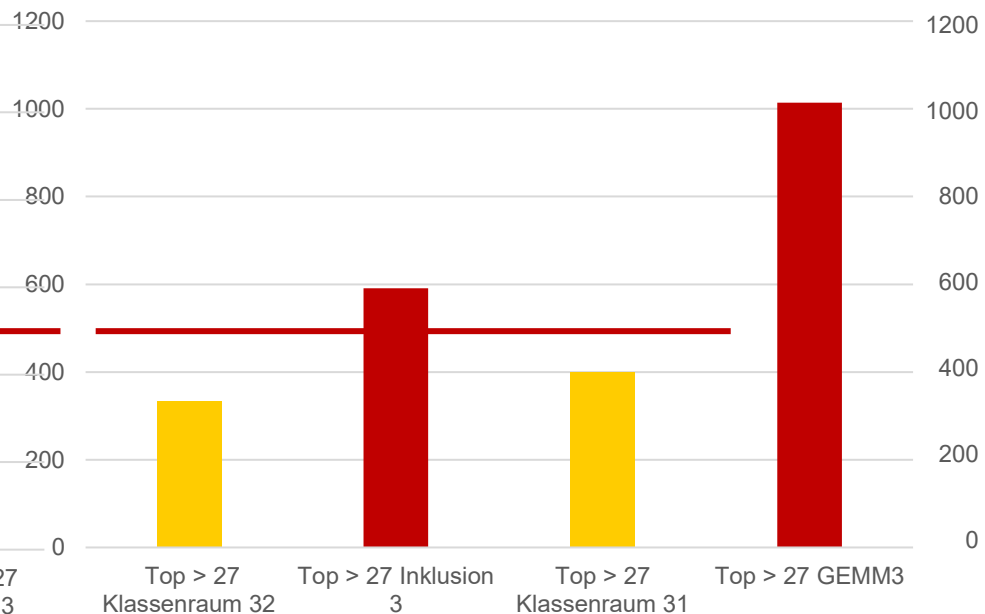
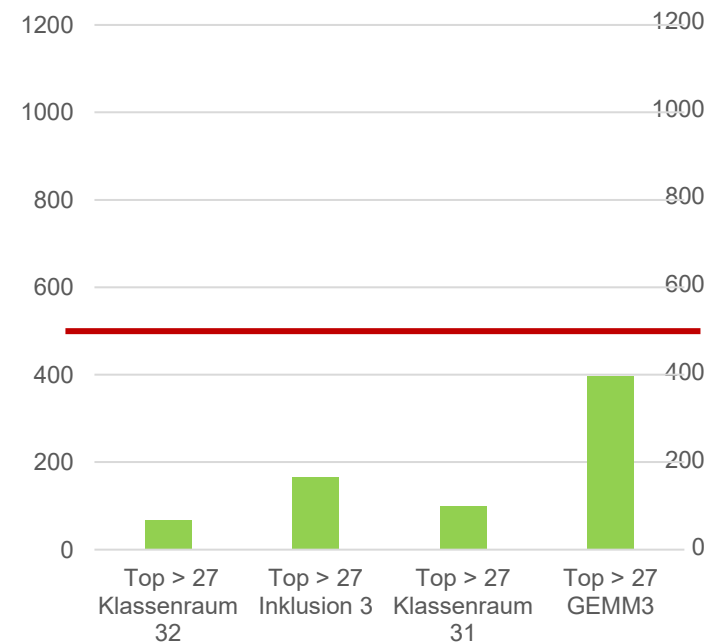
Übertemperaturstunden [Kh/a]  
 Aktueller Klimadatensatz 12 Mannheim



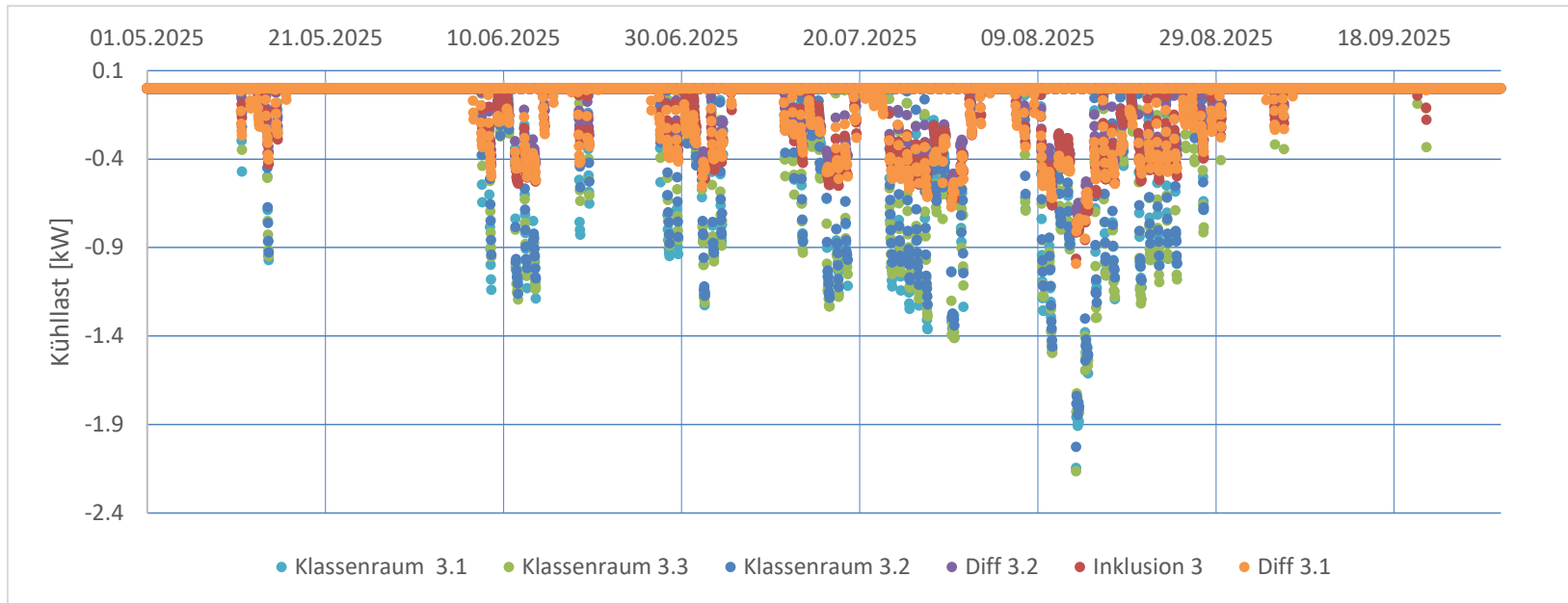
Übertemperaturstunden [Kh/a]  
 Klimadatensatz **2035**



Übertemperaturstunden [Kh/a]  
 Klimadatensatz **2035** → **reduzierte Fenster**



- ▶ **Wichtig:** der Aufwand für Kühlung kann gering gehalten werden, wenn die o.g. Maßnahmen (Verschattung / Nachtlüftung / IWQ) umgesetzt werden.



	Klassenraum 3.2	Inklusion 3	Klassenraum 3.3	Diff 3.2	Klassenraum 3.1	Diff 3.1	
Summe Kühllast	266	164	299	128	287	182	kWh
Fläche	62.97	26	64.53	19.08	69	18.73	m <sup>2</sup>
Kühlbedarf	4.2	6.3	4.6	6.7	4.2	9.7	kWh/m <sup>2</sup>
Max. Küllast	2.0	1.0	2.2	0.8	2.1	1.0	kW

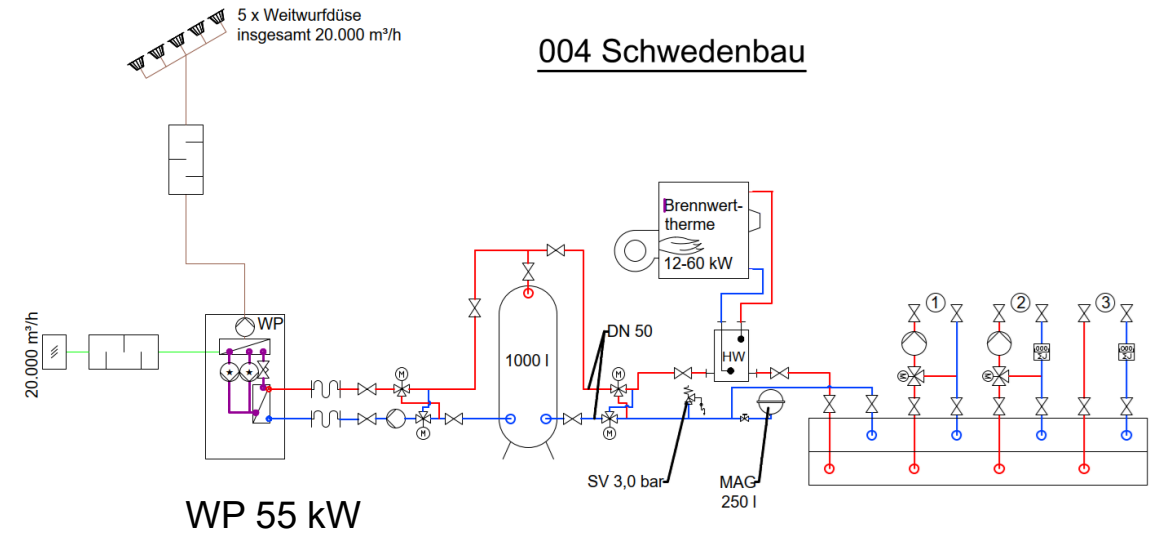




# Astrid-Lindgren-Schule – Wärmeversorgung

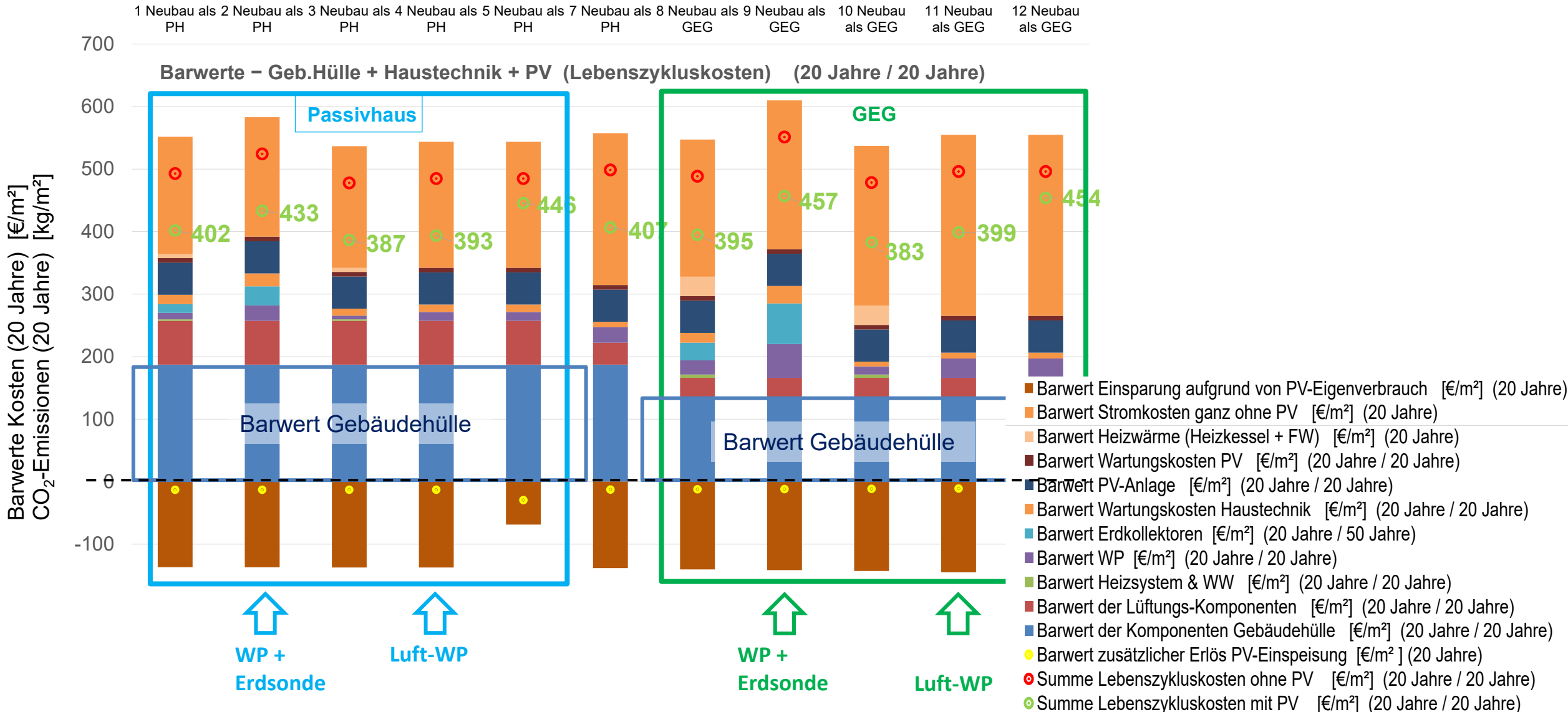


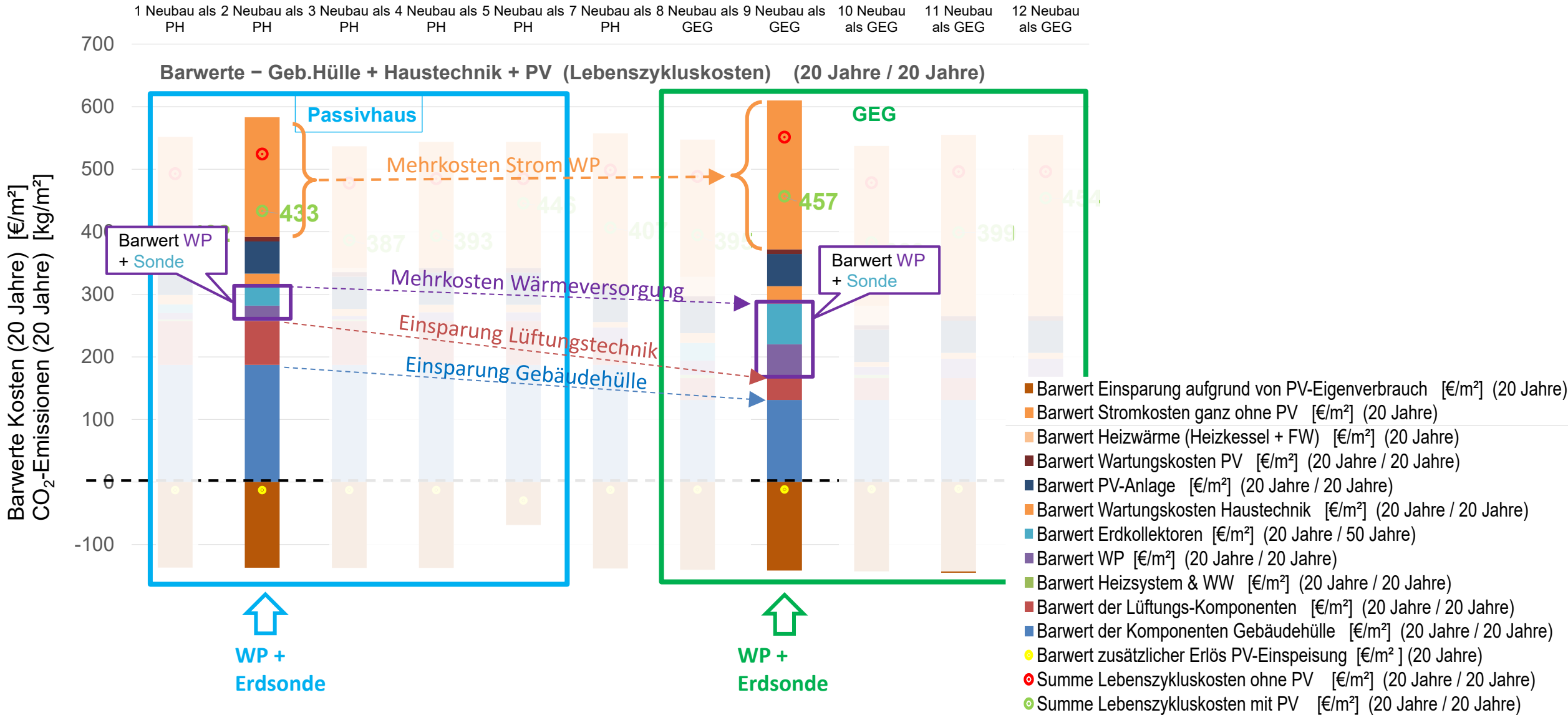
Luft – Wasser Wärmepumpe  
kombiniert mit einer Gas-  
Brennwerttherme



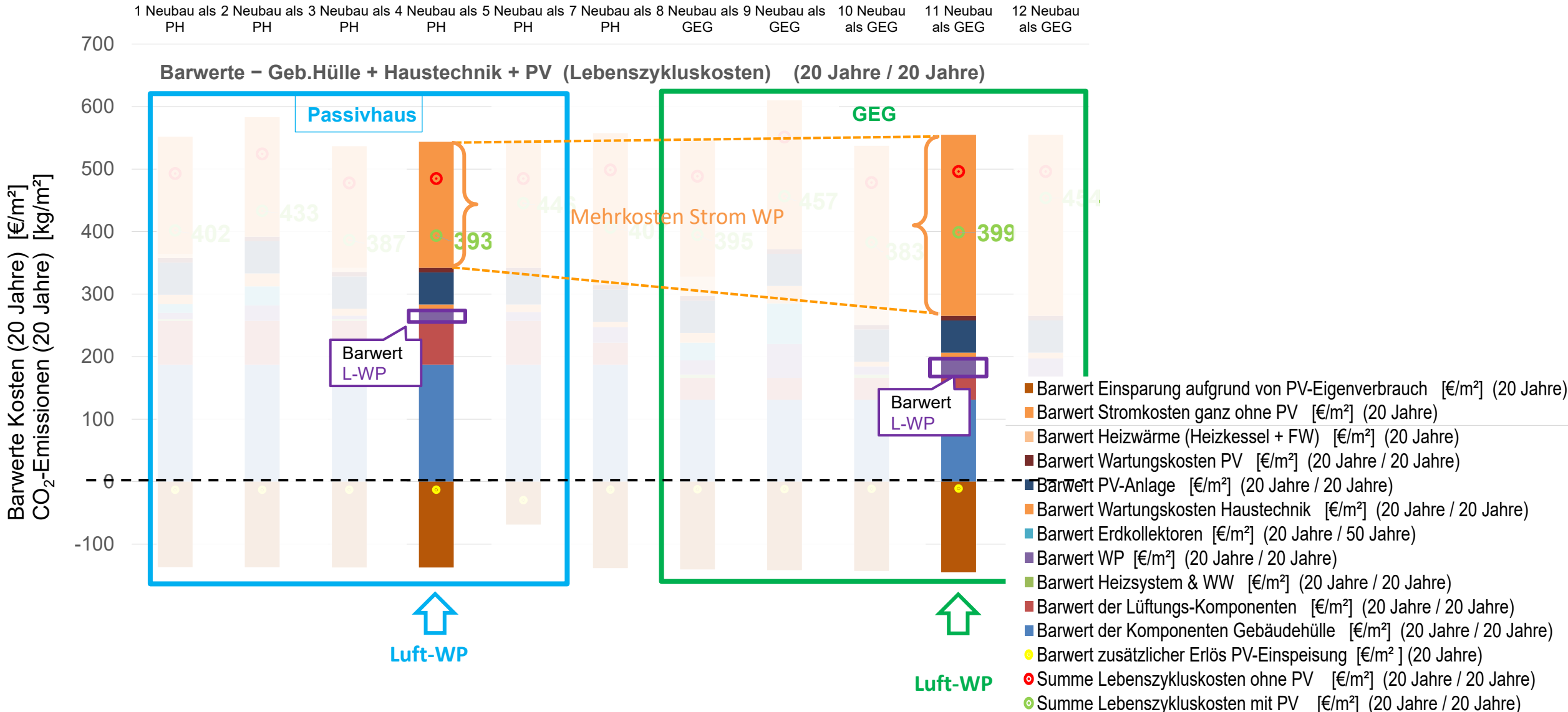
- ▶ Untersuchung der Lebenszykluskosten unterschiedlicher Versorgungssysteme
  - Erdgekoppelte Wärmepumpe
  - Luft-Wasser Wärmepumpe
  - Bivalente Versorgung mit Wärmepumpe und Gaskessel
- ▶ Einfluss des energetischen Standards auf die Dimensionierung der Wärmeversorgung
- ▶ Betrachtung der Investitions- und Betriebskosten inkl. regenerativer Energieerzeugung





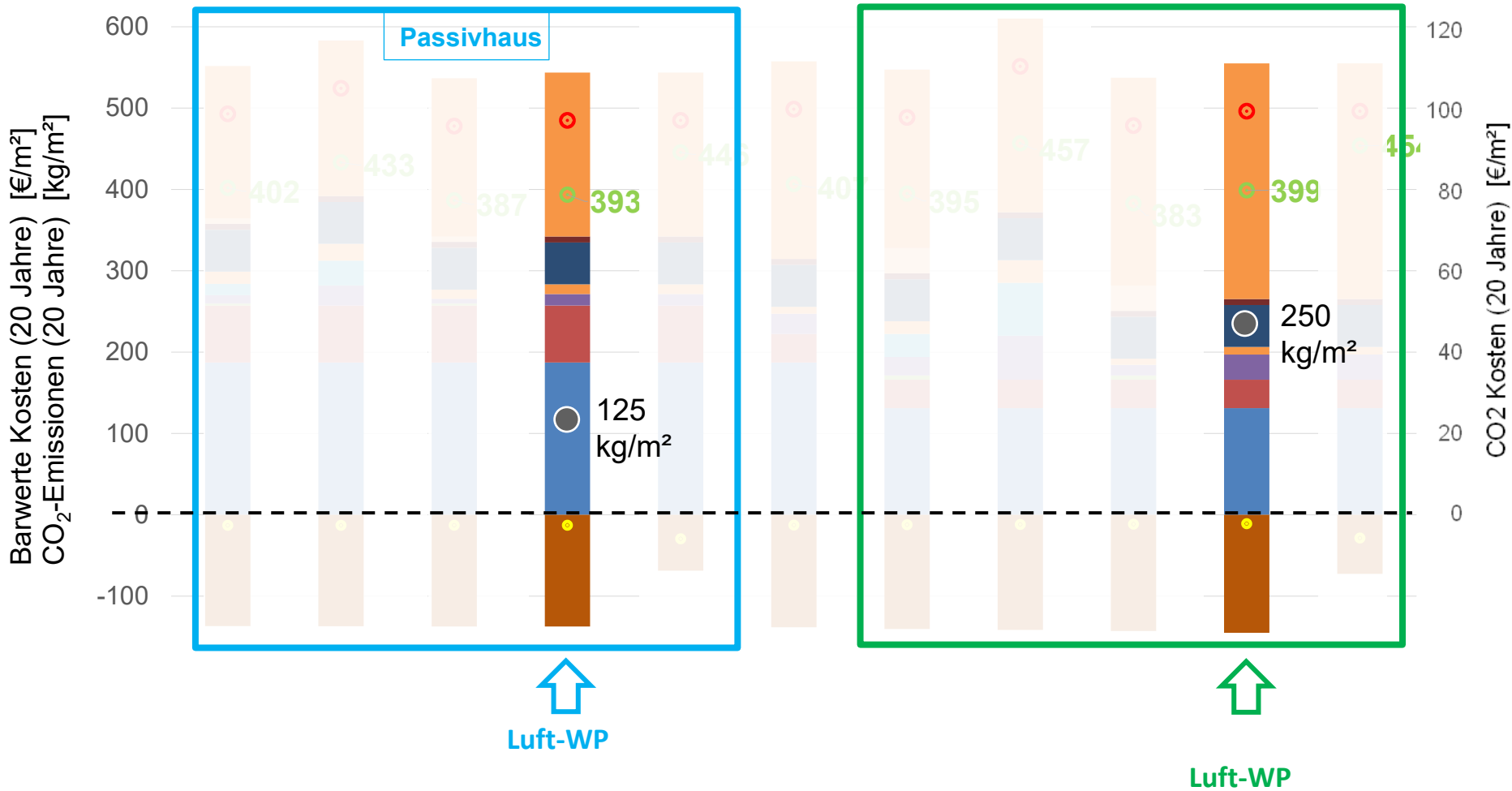






1 Neubau als PH   2 Neubau als PH   3 Neubau als PH   4 Neubau als PH   5 Neubau als PH   7 Neubau als PH   8 Neubau als GEG   9 Neubau als GEG   10 Neubau als GEG   11 Neubau als GEG   12 Neubau als GEG

Barwerte – Geb.Hülle + Haustechnik + PV (Lebenszykluskosten) (20 Jahre / 20 Jahre)





# Vielen Dank für Ihr Interesse!

Tanja Schulz  
Passivhaus Institut

[tanja.schulz@passiv.de](mailto:tanja.schulz@passiv.de)

