

# Ansätze einer nachhaltigen Energieversorgung

Energieeinsparung, rationelle Energieverwendung und Einsatz Erneuerbarer Energien

Wolfgang Schölkopf

[schoelkopf@muc.zae-bayern.de](mailto:schoelkopf@muc.zae-bayern.de)

Abt. Technik für Energiesysteme und Erneuerbare Energien

Walther-Meissner-Str. 6, 85748 Garching,

[www.zae-bayern.de](http://www.zae-bayern.de)

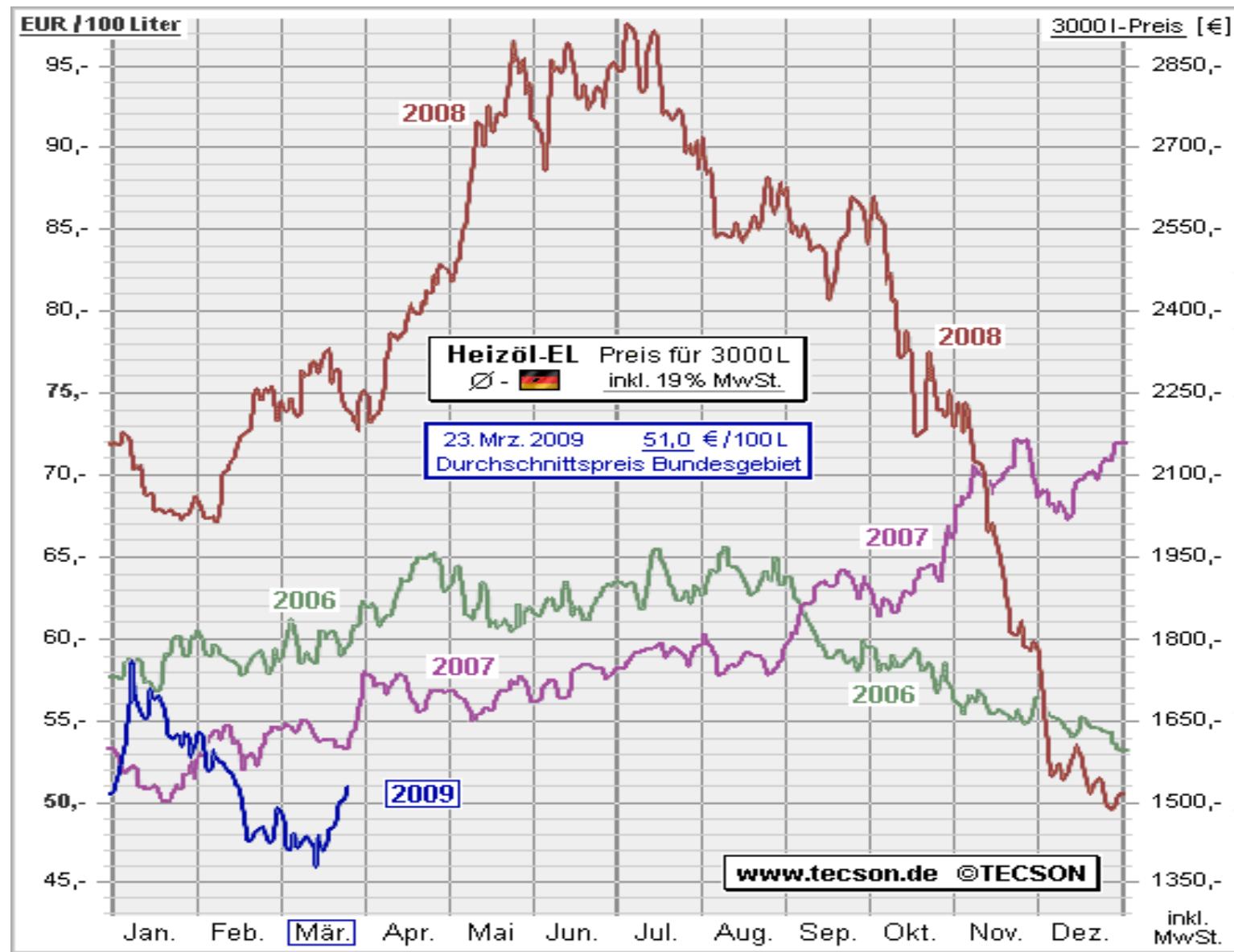
## Inhalt:

1. Motivation für nachhaltige Energieversorgung
2. Energieversorgung in Deutschlang
3. Innovationen für Gebäude
4. Nutzung Erneuerbarer Energien
5. Energetische Sanierung im Bestand
6. Langfristige Entwicklung

# Motivation I: Sichere und preisgünstige Energieversorgung



ZAE BAYERN

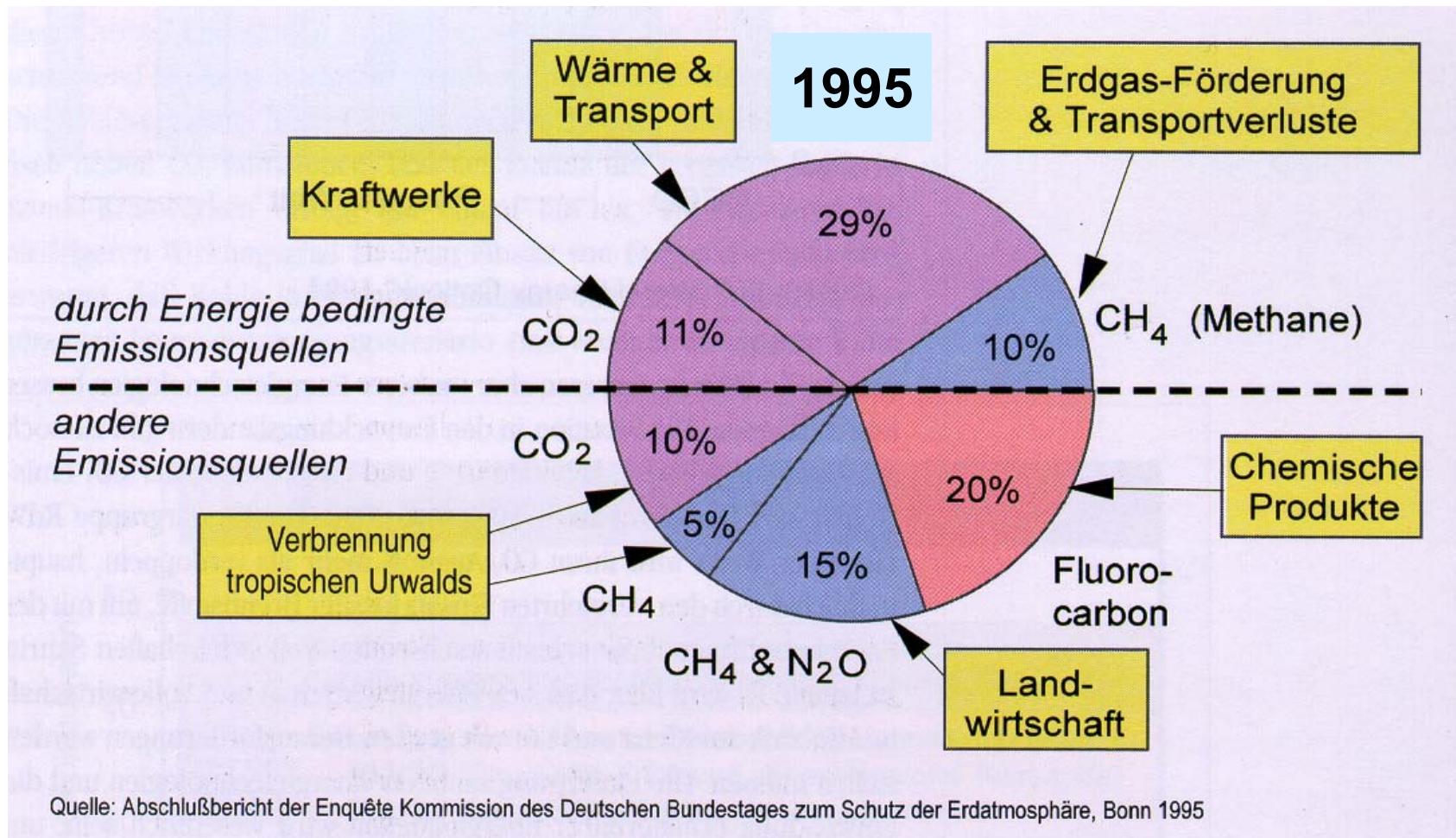


# Motivation II: Antropogener Treibhauseffekt



ZAE BAYERN

## Ursachen der globalen CO<sub>2</sub>-Emission



1990 ca. 22 Mill. → 2006 ca. 30 Mill. t CO<sub>2</sub> Äquivalent/Jahr

aktuell CO<sub>2</sub>-Gehalt ca. 380 ppm

# Ansatz: Potenzielle Erneuerbarer Energien



Energieart	globales Angebot	technisch nutzbar	aktuell genutzt
▪ Solarstrahlung	1.900 <sup>1)</sup>	2,7 <sup>2)</sup>	0,001
○ Biomasse	10	0,5 <sup>3)</sup>	0,06 <sup>4)</sup>
○ Windenergie	25	0,10	0,004
○ Wasserkraft	0,3	0,10	0,01
○ Meereswärme und Wellenenergie	2,0	0,01	0
▪ Erdwärme	0,5	0,05	0,033
Gesamt	1.950	3,42	0,134

**Globaler Primärenergieverbrauch 2005 ca. 130.000 TWh/a ≈ 1**

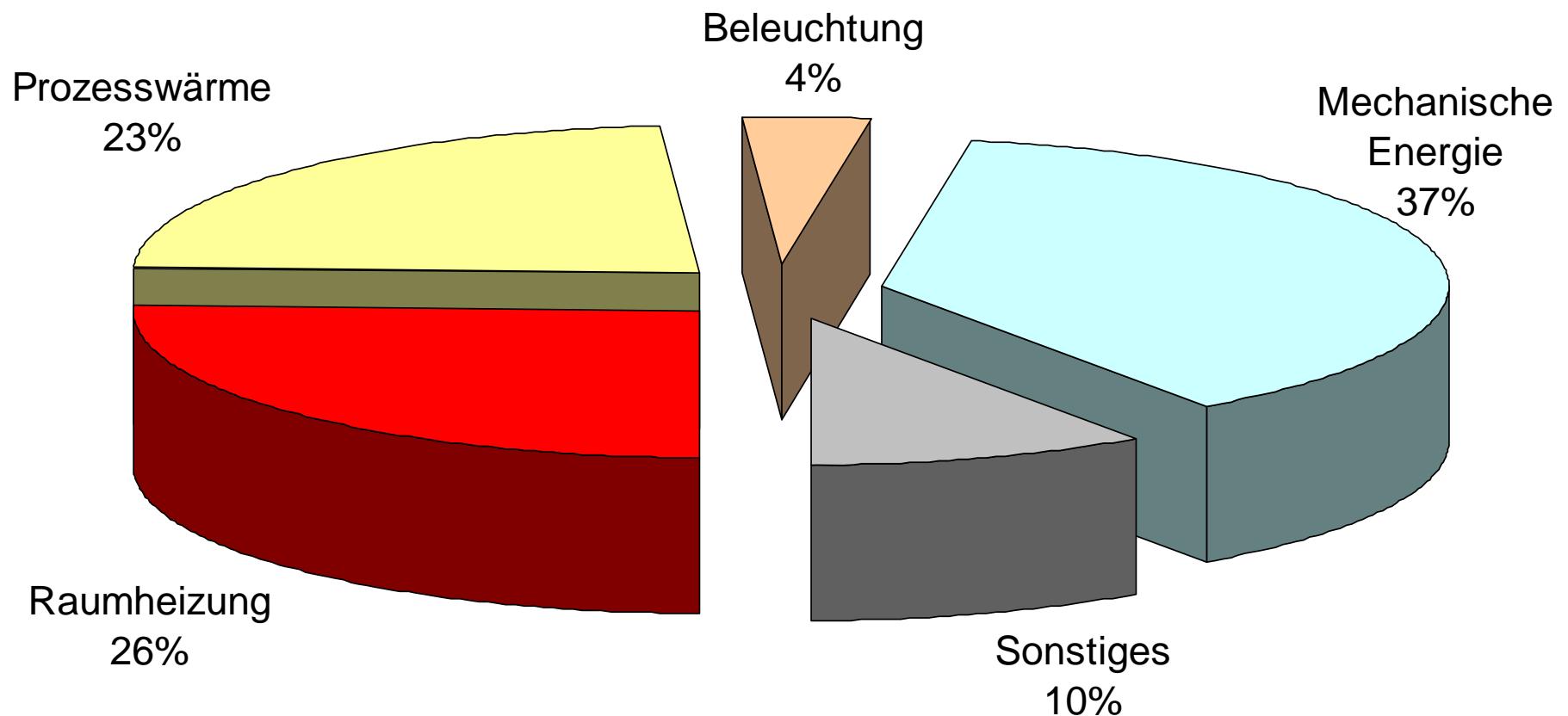
1) Solare Strahlung auf die Landfläche

2) 2 % der globalen Landfläche =  $3 \cdot 10^6 \text{ km}^2$ , Nutzungsgrad = 0,1

3) Nutzung aller Biomasse aus Land- und Forstwirtschaft

4) Aktuelle globale Nutzung von Biomasse

# Primärenergieeinsatz BRD 2005

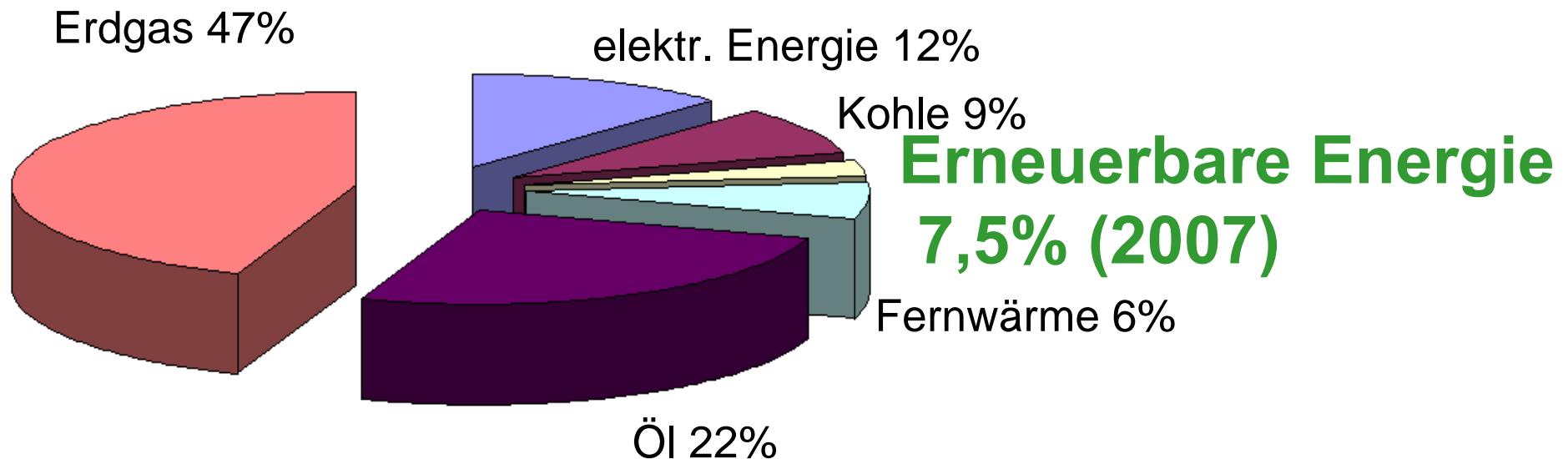


100 % = 14.238 PJ entspricht 4.000 TWh (TWh ≡ Milliarde kWh)

# Wärmebedarfsdeckung BRD 2005



60 % der Endenergie = 5.480 PJ/a (1.522 Milliarden kWh)



- Anteil der Raumwärme 55%
- Prozesswärme < 200 °C 11%
- Prozesswärme > 200 °C 33%

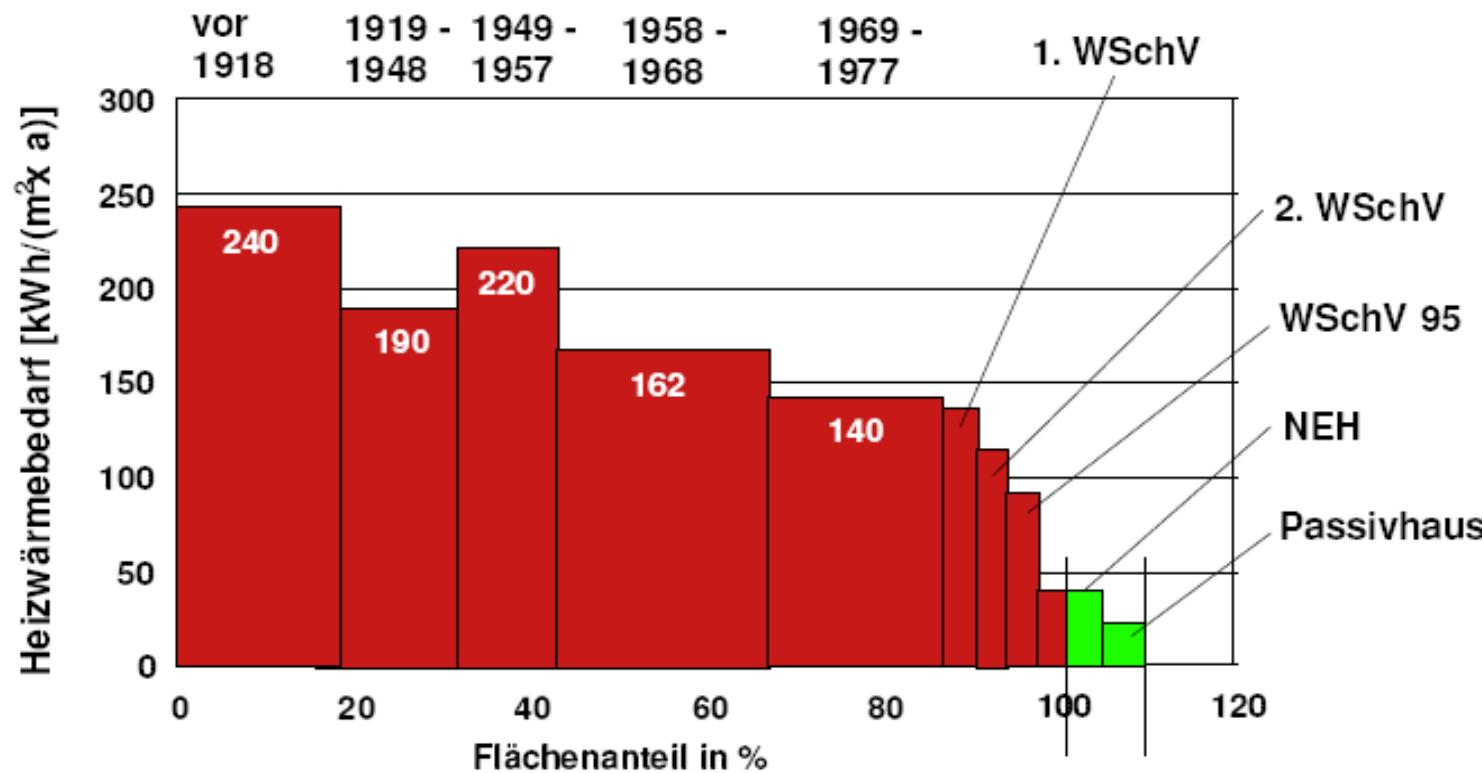
# Heizwärmebedarf in Wohngebäuden



ZAE BAYERN

**VIEGMANN**

**Gebäudebestand**



Quelle: Bund deutscher Architekten 1999

## Maximalwerte für Neubau und Gebäudebestand

- **Limitierter Primärenergiebedarf Neubau:** ca. 70 – 130 kWh/(m<sup>2</sup>a)

Bewertung der Heizanlagen und der Gebäudehülle  
abhängig von Oberflächen/Volumenverhältnis des Gebäudes

- **hochwertiger Wärmeschutz der Gebäudehülle**  
(10 – 15 cm Wärmedämmung, Wärmeschutzverglasung)
- **moderne Heiztechnik** (Wärmepumpen, Kraft-Wärme-Kopplung, ...)
- **Einsatz erneuerbarer Energieträger** (Holz, Sonne, Geothermie, Umweltwärme)

# Energieeinsparverordnung = EnEV

## Bestimmt die Qualität der thermischen Gebäudehülle, Gebäude- und Versorgungstechnik ( $H_T, Q_h * e_P = Q_P$ )

- 2004** Zusammenführung von WSchVO und Heizanlagenverordnung  
(2002) Bewertung Brennstoffe nach Primärenergieaufwand
- 2007** Erweitert die EnEV 2002 um den Aufwand für Beleuchtung, Kühlung, Lüftung/Luftfeuchte und Betriebsenergie
- 2009** Verschärft die EnEV und soll mit neuer Energietechnik (erneuerbare Energie) durchschnittlich 30 % weniger Primärenergie brauchen. Dämmen von Geschossdecken wird zur Pflicht.  
Bis 2020 keine elektrische Heizungen mehr zulässig



# Innovationen für Gebäude



# Ansatz Gebäudehülle



## Infrarot-Aufnahme von Wohnhäusern

### Vordergrund

Gebäude mit hoch-effizienter Dämmung

### Hintergrund

unsanierter Altbau mit gedämmtem Dach

- warme Oberfläche
- moderate Temperatur
- kalte Oberfläche

# Evakuierte thermische Isolationen



## Vakuumisolationen

zylindrische Gefäße:

Thermoskannen und Kryogefäße

flache Elemente:

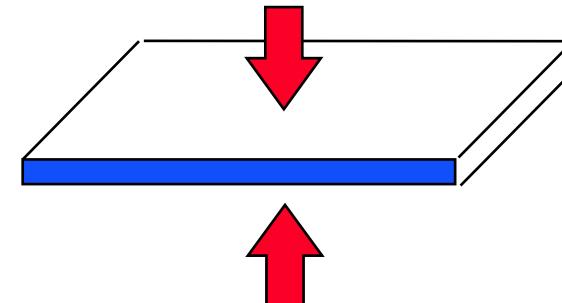
**Vakuum-Isolations-Paneele (VIP)**



Atmosphärendruck

10 t / m<sup>2</sup>

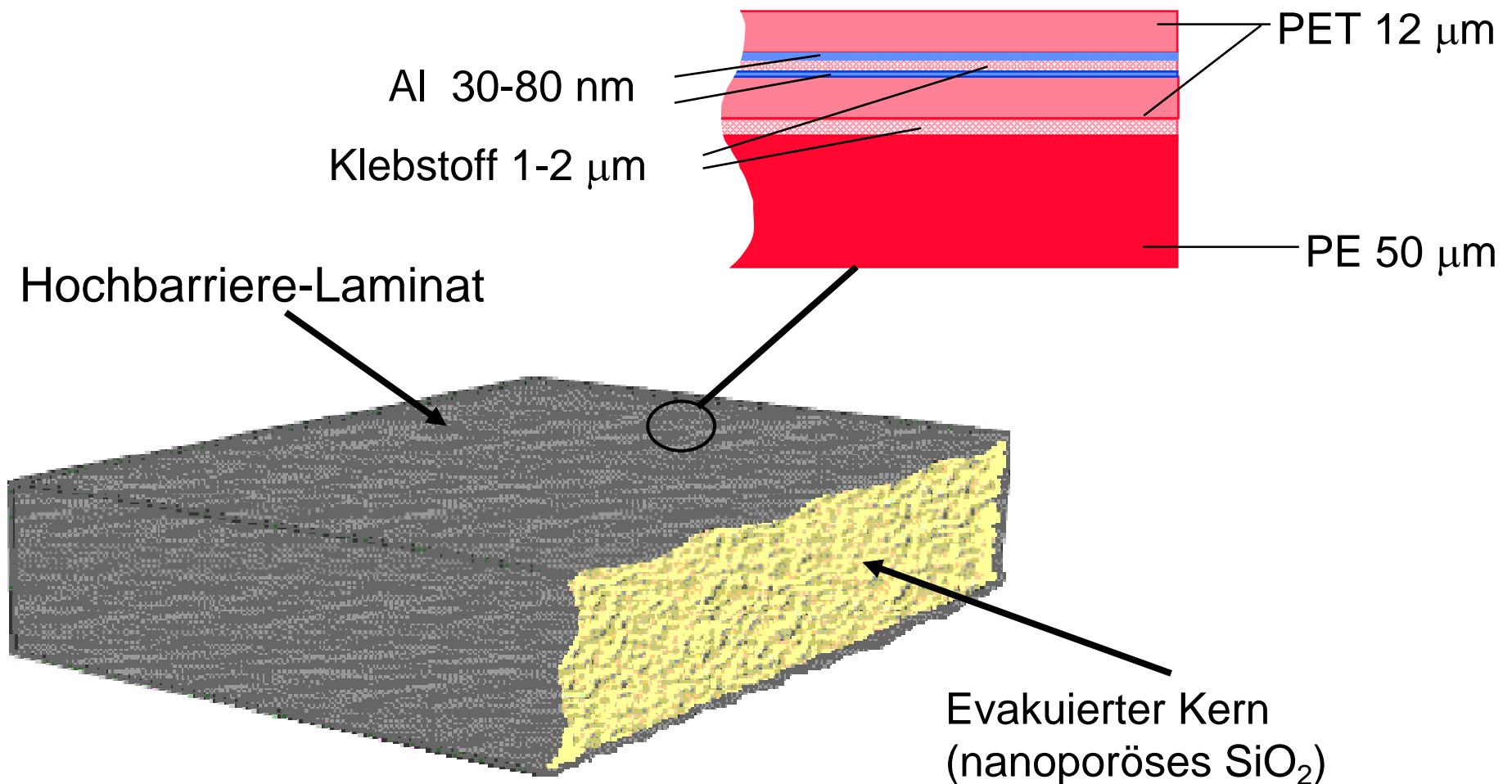
Druck tragendes Füllmaterial



$\lambda = 0,0001 \text{ bis } 0,005 \text{ W/(mK)}$

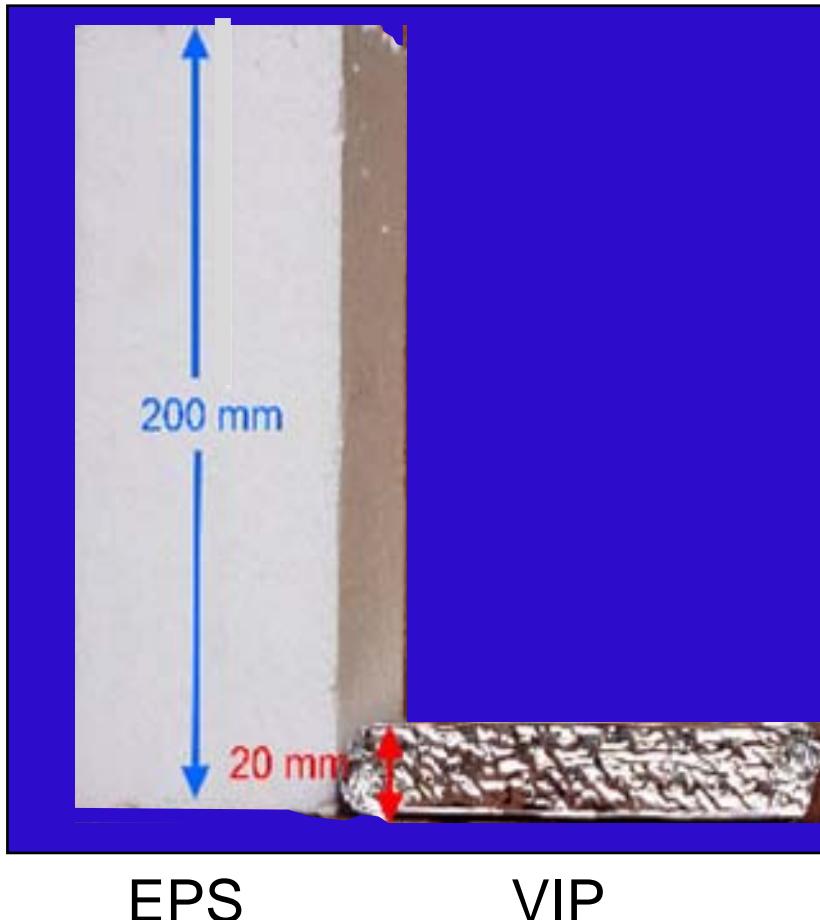
$\lambda = 0,001 \text{ bis } 0,008 \text{ W/(mK)}$

# Vakuumisolationspaneel



Gasdurchlässigkeiten: < 0,0005 cm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>d)

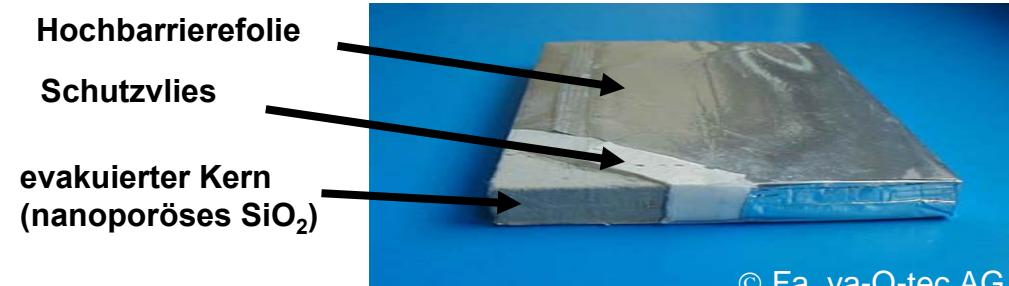
# Vakuumisolationspanel



Wärmeleitfähigkeit VIP:

$$\lambda = 0,005 \text{ W/(mK)}$$

$$\lambda_{\text{belüftet}} = 0,020 \text{ W/(mK)}$$



© Fa. va-Q-tec AG

# Mit Vakuumdämmung sanierte Reihenhausfassade



ZAE BAYERN



Architekt: Florian Lichtblau, München 2001

# VIP gedämmte Betonfertigteile



Vorgefertigtes Wandelement mit VIP:



© A. Hängleiter GmbH & Co. KG

# Neubau mit vakuumgedämmten Betonfertigteile



ZAE BAYERN



Architekten: Weinbrenner-Single, 2005

© ZAE Bayern

# VIP - Dämmung am Neubau Seitzstraße München



Demonstrationsobjekt  
1.350 m<sup>2</sup> Nutzfläche  
für 8 Wohnungen und 6 Büros

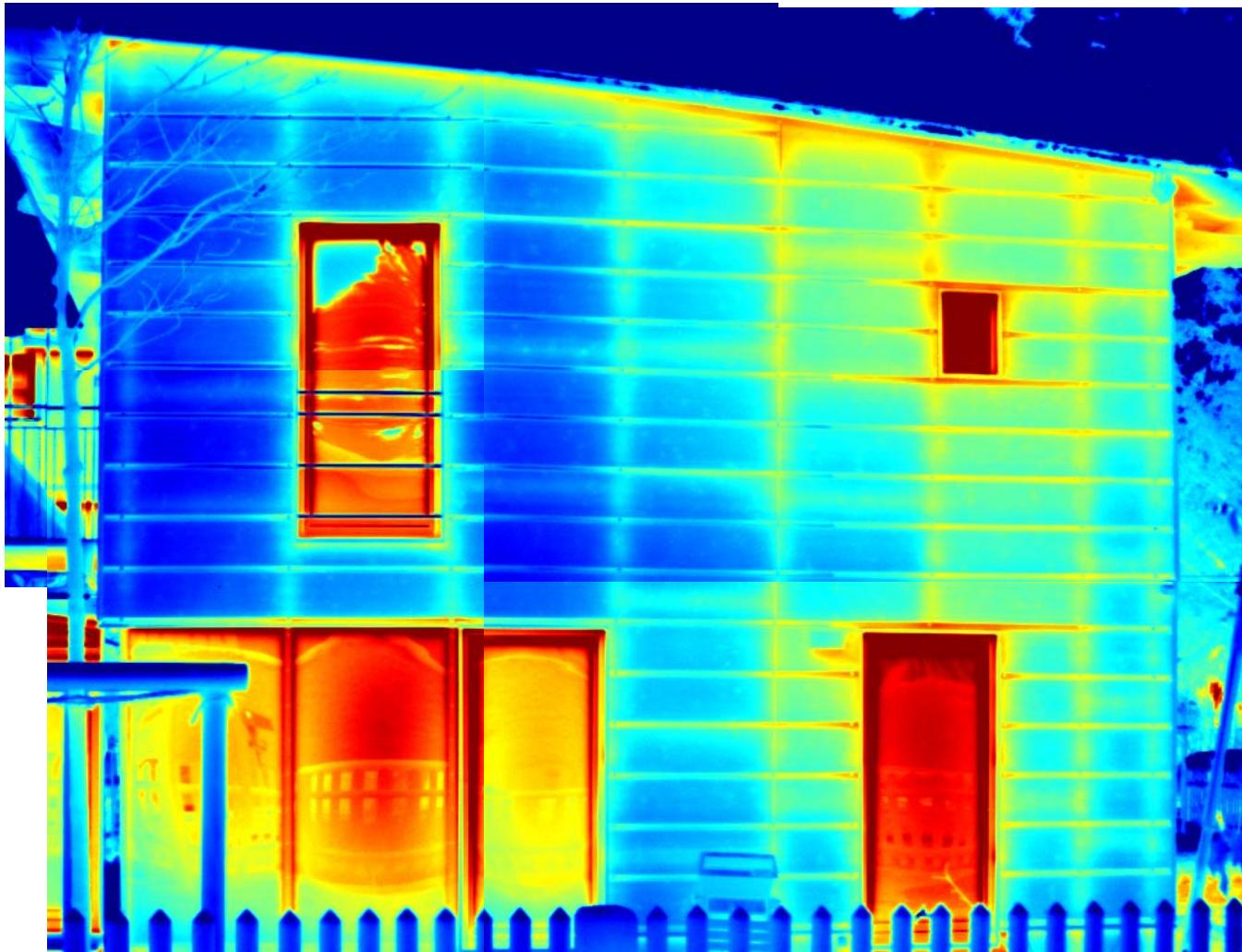
3-fach Verglasung  
kontrollierte Lüftung  
mit Wärmerückgewinnung

Heizenergiebedarf 20 kWh/m<sup>2</sup>a

Restwärmedeckung mit Mini-BHKW  
in Kraft-Wärme-Kopplung

Pool Architekten, München 2003

# Vakuumisoliertes Glas (VIG)



- Außenwand:

$$U \leq 0,2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

- Fenster:

$$U \approx 1,1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

2-fach-Verglasung

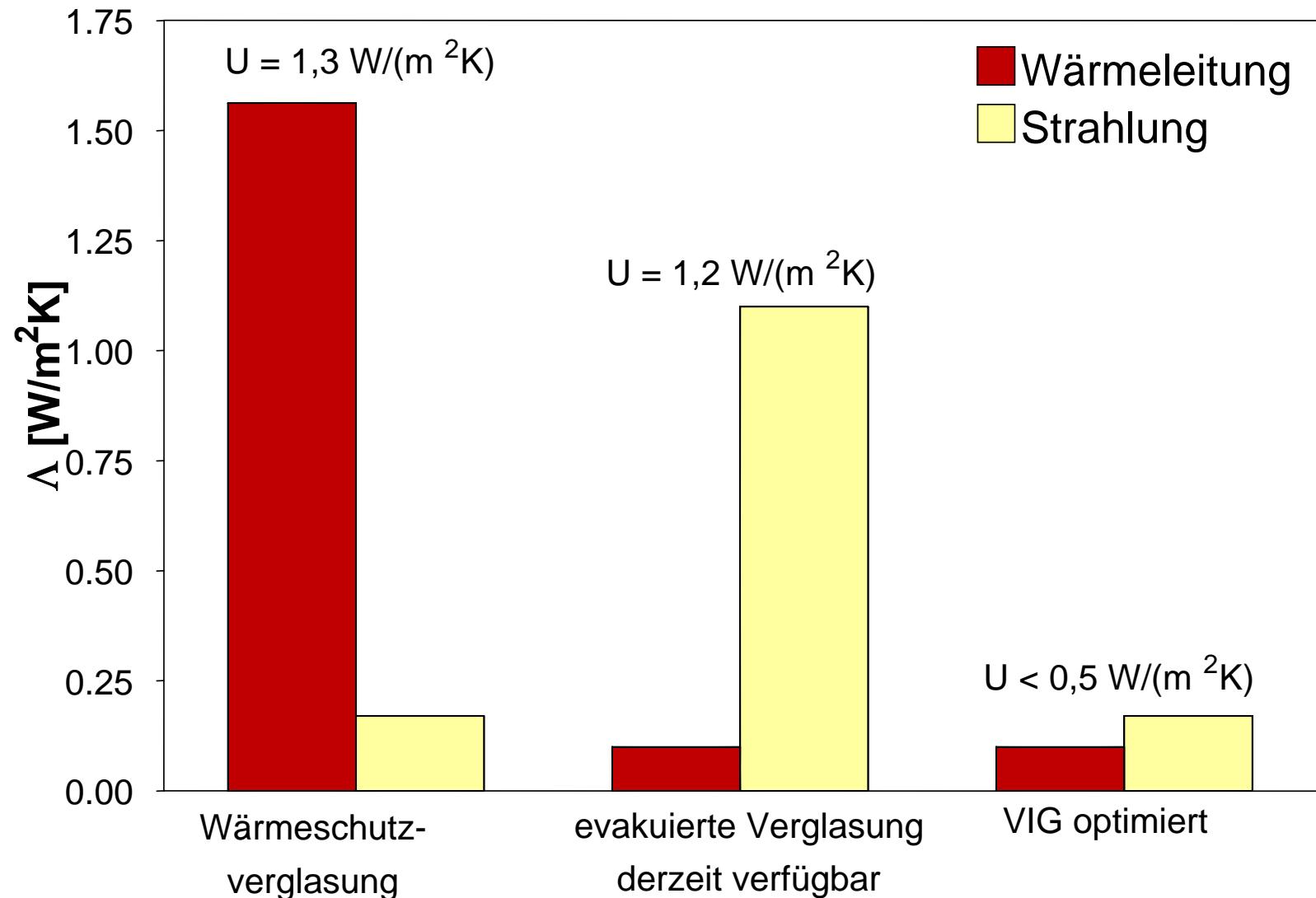
$$U \approx 0,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

3-fach-Verglasung  
(hohes Gewicht)

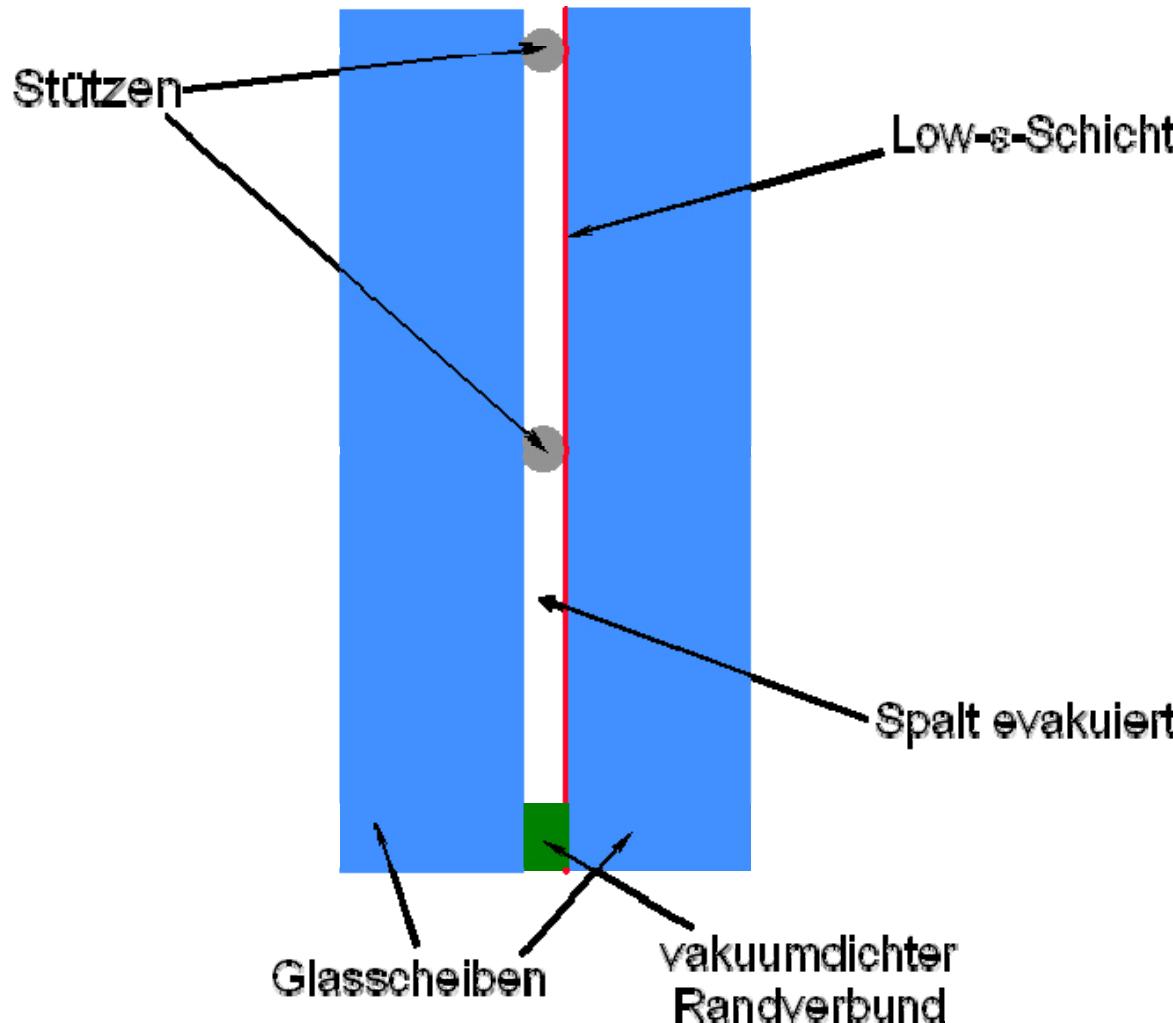
# Vergleich Fensterverglasungen



ZAE BAYERN



# Vakuum-Isolierglas



- gute Wärmedämmung  
 $U \approx 0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- geringes Gewicht  
(nur 2 Scheiben)
- schlanker Aufbau  
 $\approx 10\text{mm}$
- Dichtigkeit Randverbund?
- Sichtbarkeit Stützen?

# Prototypen

- Optimierte VIG entwickelt:
    - $U < 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
    - hohe mechanische Stabilität
    - Randverbund wie konventionelle Verglasungen
- „Markttechnische Umsetzung“  
bis 2009
- VIG-Preis entspricht der  
3-fach Verglasung



*VIG-Exponate auf der glasstec 2006.*

# hoch wärmedämmende Fassaden und Fensterkonstruktion (HWFF)



ZAE BAYERN

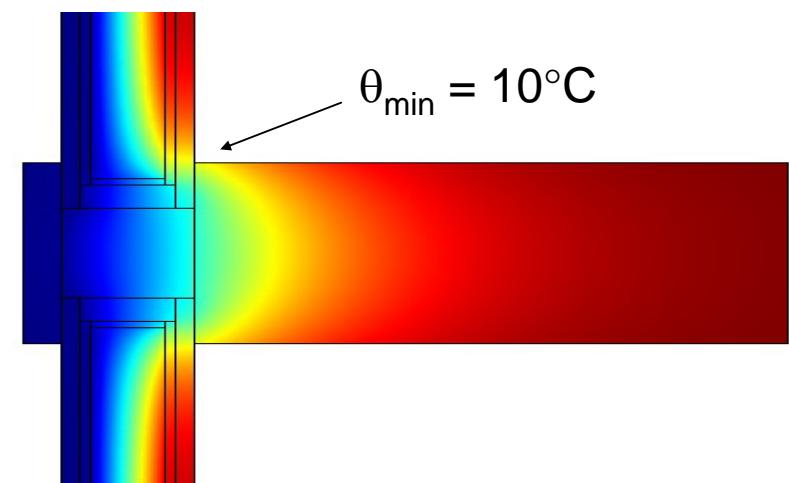


Pfosten-/Riegelkonstruktion mit  
Vakuumdämmung:

Trotz guter Dämmwirkung der  
Vakuumpaneele mit  $U = 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$   
sinkt die Temperatur an der Kante auf  
kritische  $10^\circ\text{C}$ .

Effiziente und schlanke Wärmedämmung  
der Gebäudehülle:

- Fassade bereits machbar (z.B. Vakuumdämmung)
- Verglasung bald machbar (Vakuumisolierglas)
- Rahmen-/Fassadenanbindung

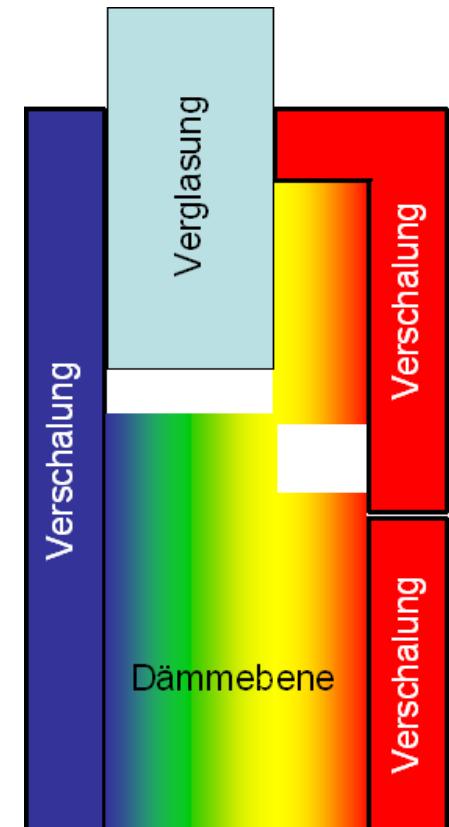


# HWFF - Ziele



- Entwicklung hochwärmédämmender Fenster- und Fassadensysteme mit schlanken Rahmenkonstruktionen und hocheffizienten Verglasungen
- Optimierung bestehender Systeme durch verbesserte Materialien und Konstruktionen
- Untersuchung völlig neuartiger Ansätze und Konzepte
- Einbeziehung von Vakuumisolierglas (VIG) als schlanke und hochwärmédämmende Verglasung
- $U_F$ -Werte der Profile und Rahmen  $< 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  bei schlanker Bauweise

Einen Entwicklungsschwerpunkt bilden dabei Standard-Fenster für Neubau und Sanierung.



Schlanker, hochwärmédämmender Rahmen durch vollständige thermische Entkopplung von Warm- und Kaltseite (schematisch)

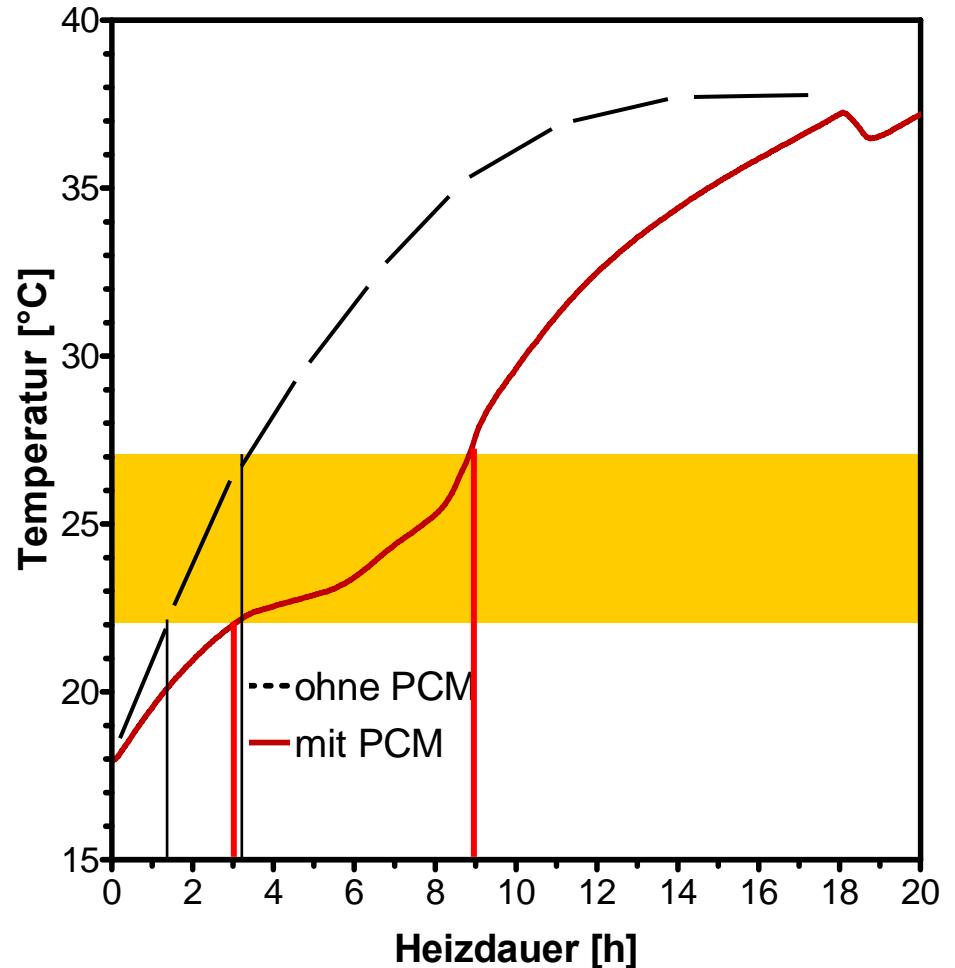
# Prinzip Latentwärmespeicher (PCM)



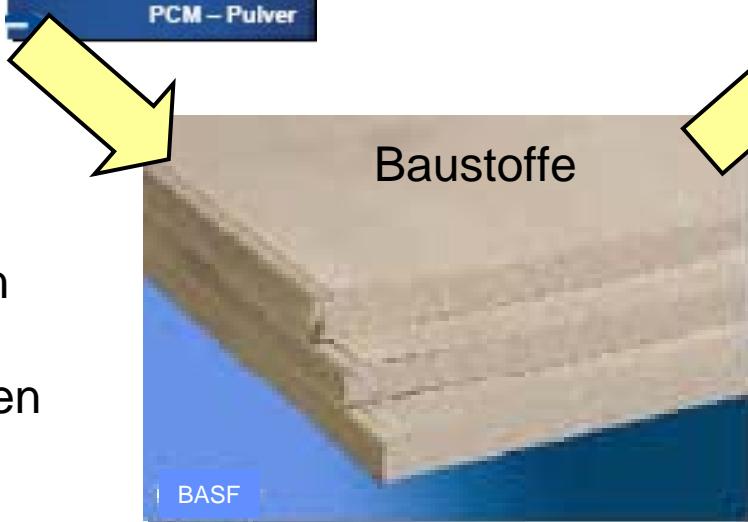
ZAE BAYERN



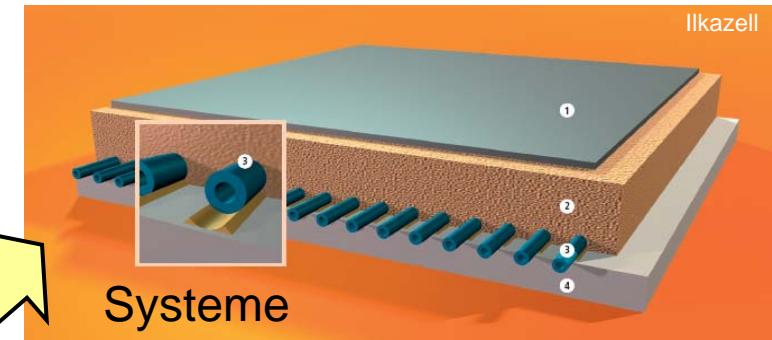
- Hohe Speicherdichte in einem engen Temperaturintervall
- Temperaturkonstanz während des Phasenübergangs ⇒ thermische Pufferwirkung



# PCM - Bauproducte mikroverkapselte Paraffine



- Gipsbauplatten
- Putze
- Spachtelmassen



- Kapillarrohrmatten
- Kühldecken

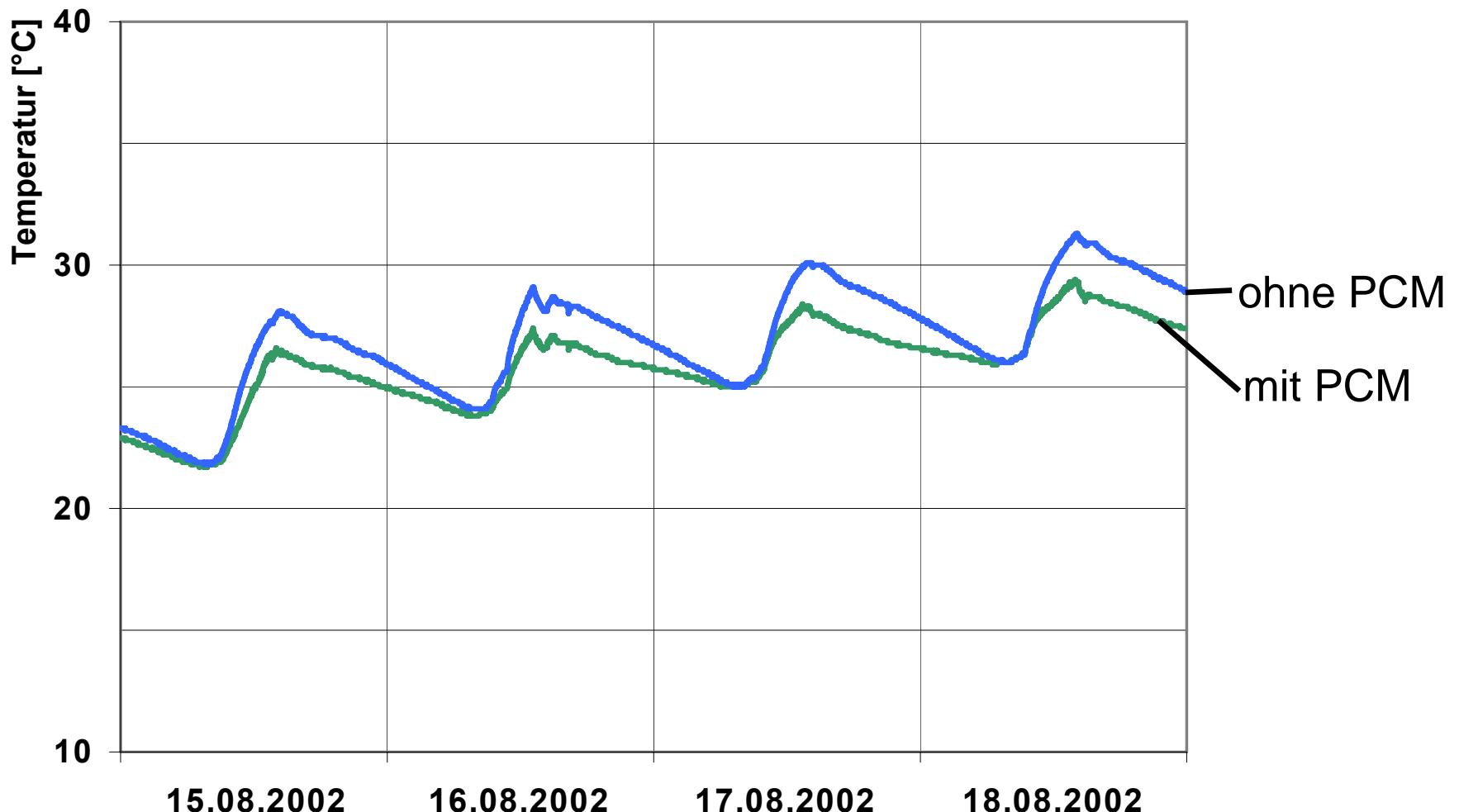
+ Konventionell verarbeitbar  
+ Bohren/Nageln/etc. möglich  
ohne Auslaufen des PCM

- PCM-Anteil gering (ca. 30%)  
- Baustoffklasse B2  
- Sehr teuer

# PCM - Wirkungsweise im Testraum



Messwerte Temperaturen Raummitte



# Nutzung Erneuerbarer Energien



# Nahwärmekonzept: Solar + KWP + Speicher



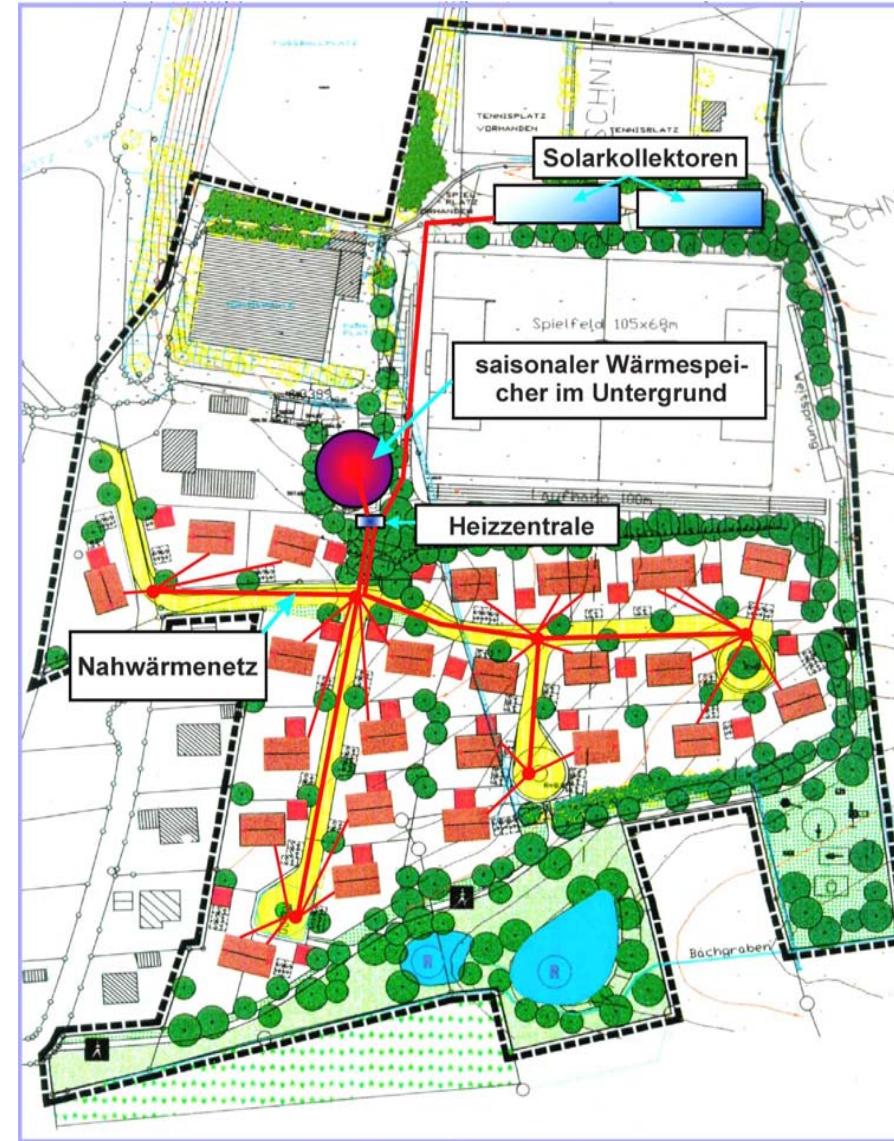
BAYERN

## Wohnsiedlung Attenkirchen

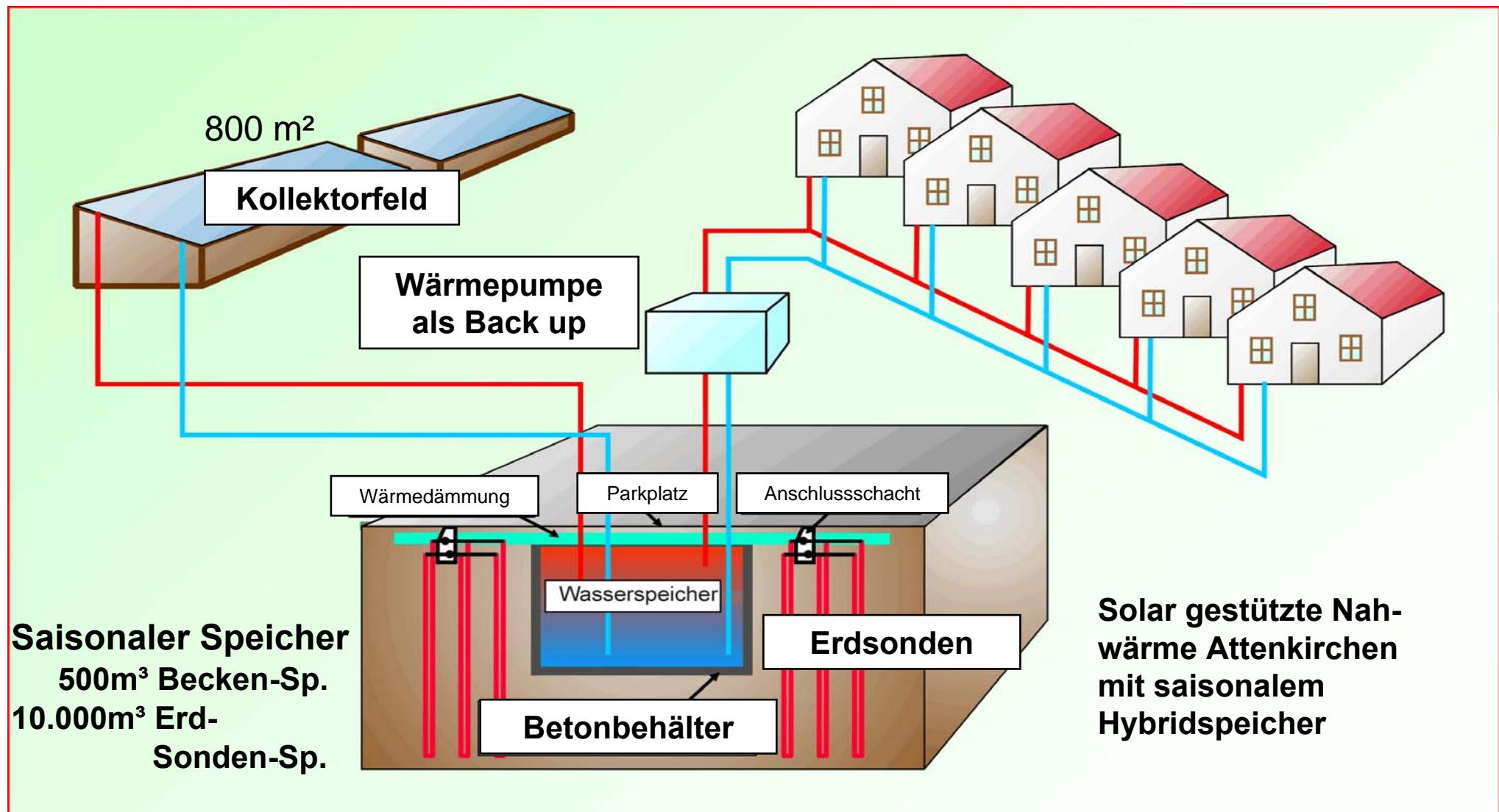
20 Einfamilienhäuser  
5 Doppelhäuser  
6.200 m<sup>2</sup> Nutzfläche

Gesamtwärmebedarf  
Hz +WW = 487 MWh/a

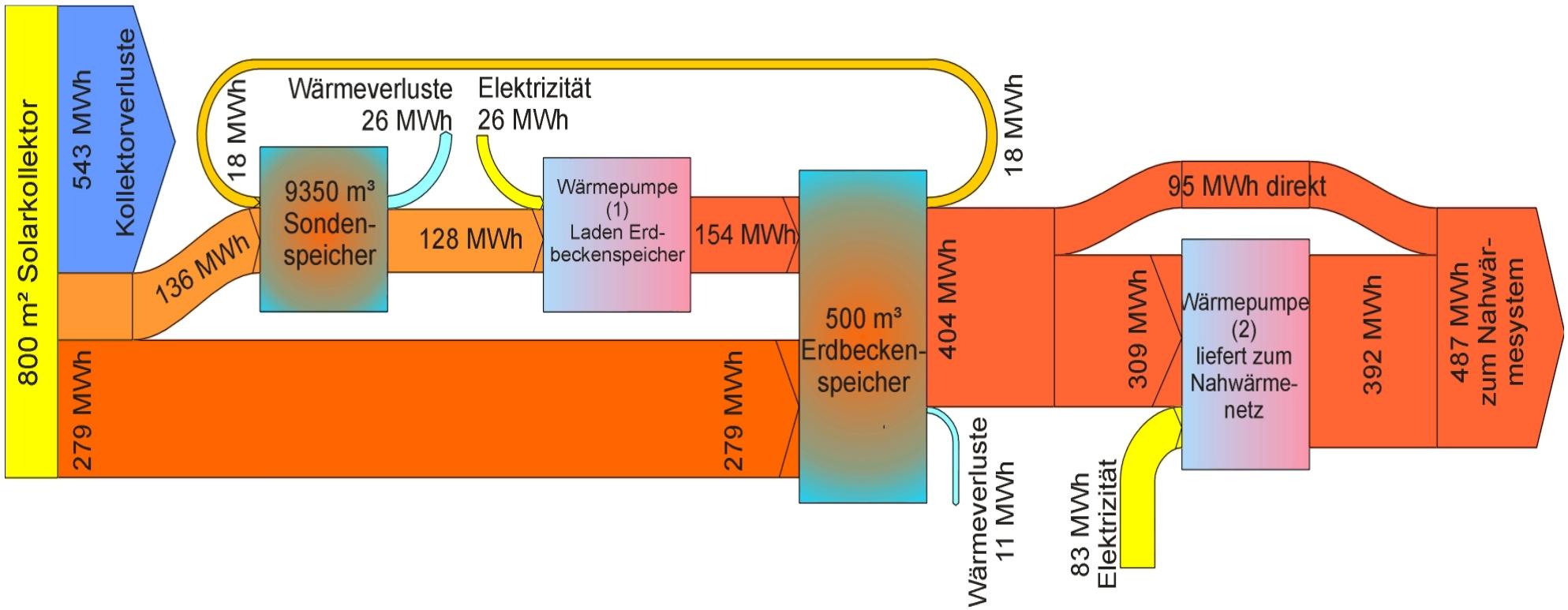
55 % solarer Deckungsanteil  
58 % CO<sub>2</sub>-Einsparung



# System



# Jahresenergiebilanz



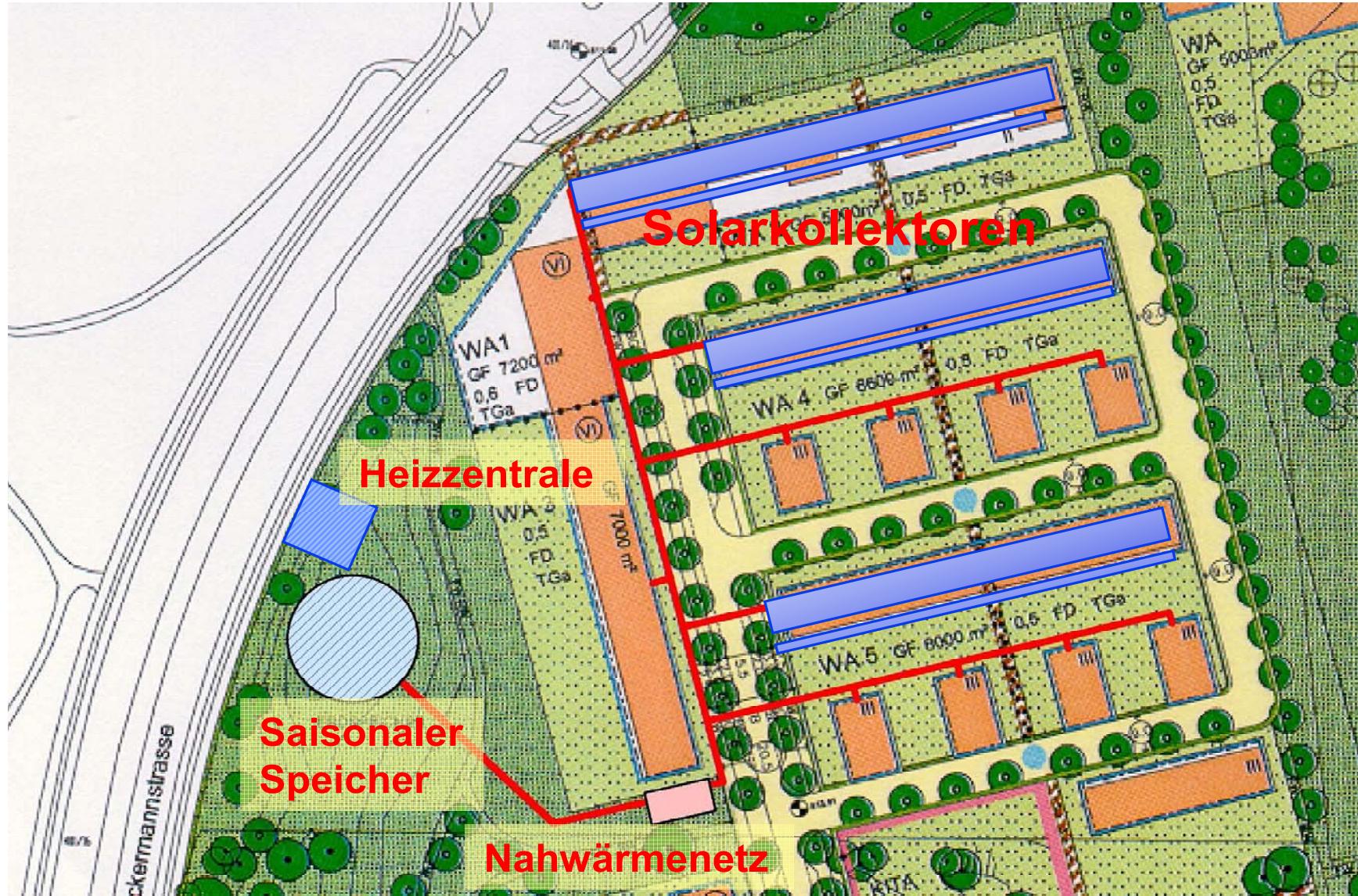
55 % solarer Deckungsanteil

58 % CO<sub>2</sub>-Einsparung

# Solare Nahwärme München/Ackermannbogen



ZAE BAYERN



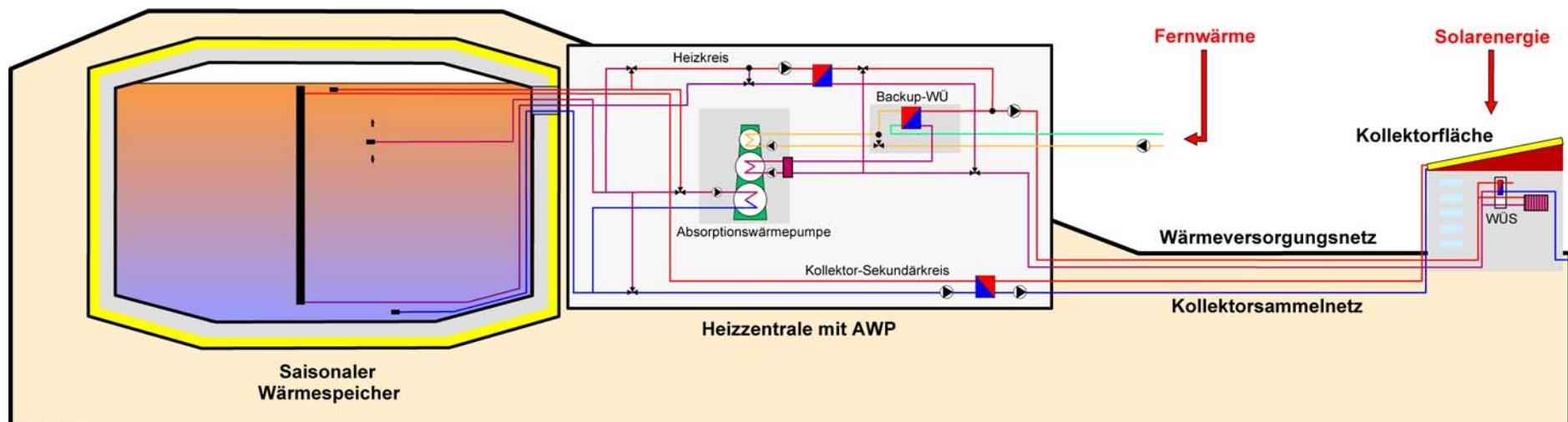
# Energiekonzept am Ackermannbogen



- Neubauten mit insgesamt 320 Wohnungen und 30.400 m<sup>2</sup> BGF
- Ziel: 50 % solare Deckung von 2.300 MWh/a für Heizung und Brauchwarmwasser

## Solares Nahwärmesystem:

- 50% Wärme aus 2900 m<sup>2</sup> Kollektoren kombiniert mit 6.000 m<sup>3</sup> Warmwasserspeicher
- 50% aus Fernwärme über eine Absorptionswärmepumpe, Speicher ist Niedertemperaturreservoir



## Bau von 2005 - 2007

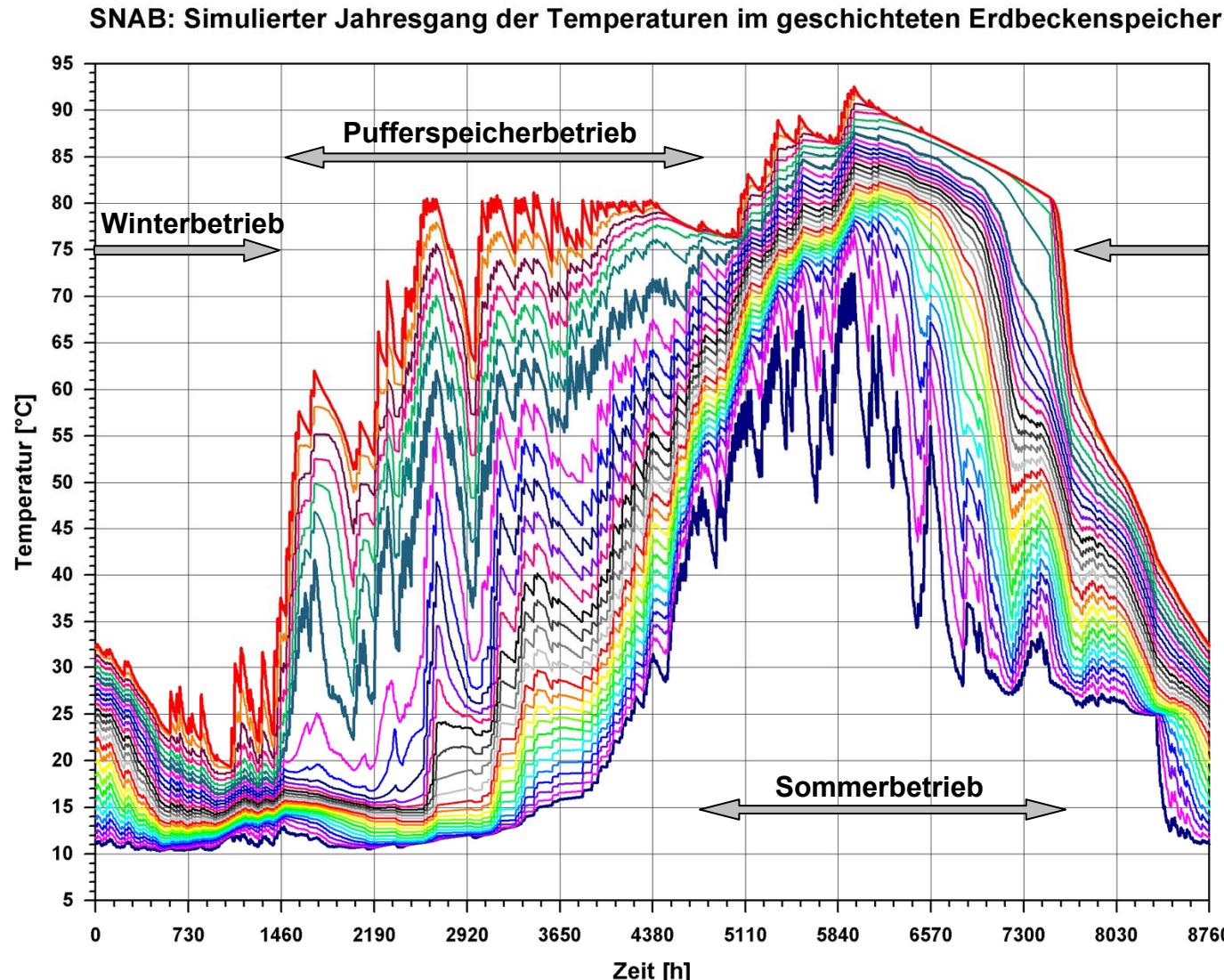


6000 m<sup>3</sup> geschichteter  
Warmwasserspeicher  
10- 95 °



320 Wohneinheiten in  
4 Geschoßbauten  
versorgt über ein Nahwärmennetz  
60 / 30 °C

# Regelstrategie



# Inbetriebnahme 2007



- dreijähriges Monitoring
- Kosten für Investition und Begleitforschung
- werden vom BMU im Programm
- Solarthermie 2000plus gefördert



# Energetische Sanierung des Technischen Ämtergebäudes (TÄG) Bayreuth



## Gebäudedaten:

Bruttoräuminhalt = 52.213 m<sup>3</sup>, V<sub>e</sub> = 47.550 m<sup>3</sup>, A/V = 0,35/m

Bruttofläche A<sub>N</sub> = 15.214 m<sup>2</sup>, Beheizte Fläche GF<sub>th</sub> = 13.473 m<sup>2</sup>,

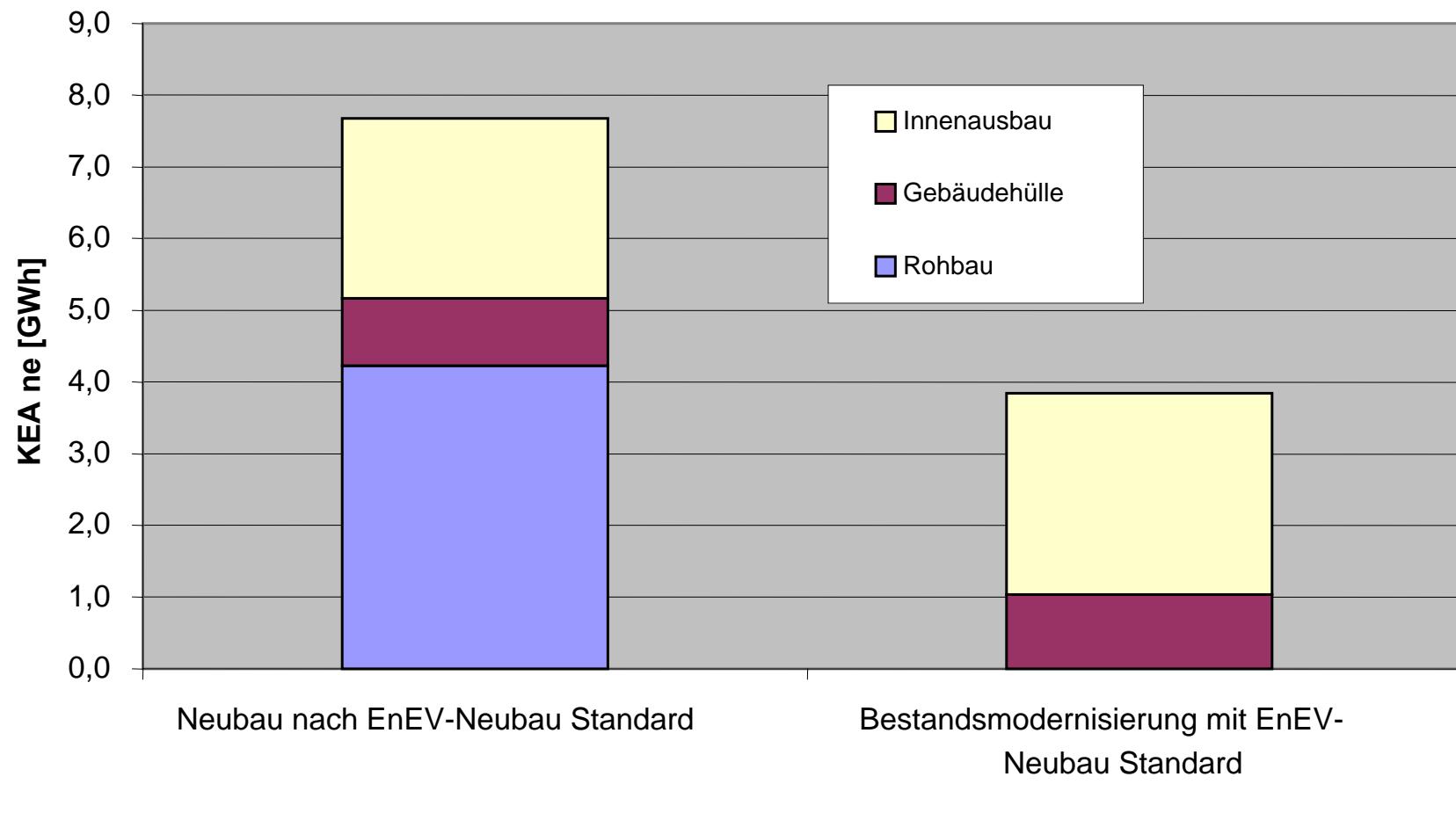
Hauptnutzfläche HNF = 6.626 m<sup>2</sup>,



# Energetische Bewertung Sanierung ↔ Abriss

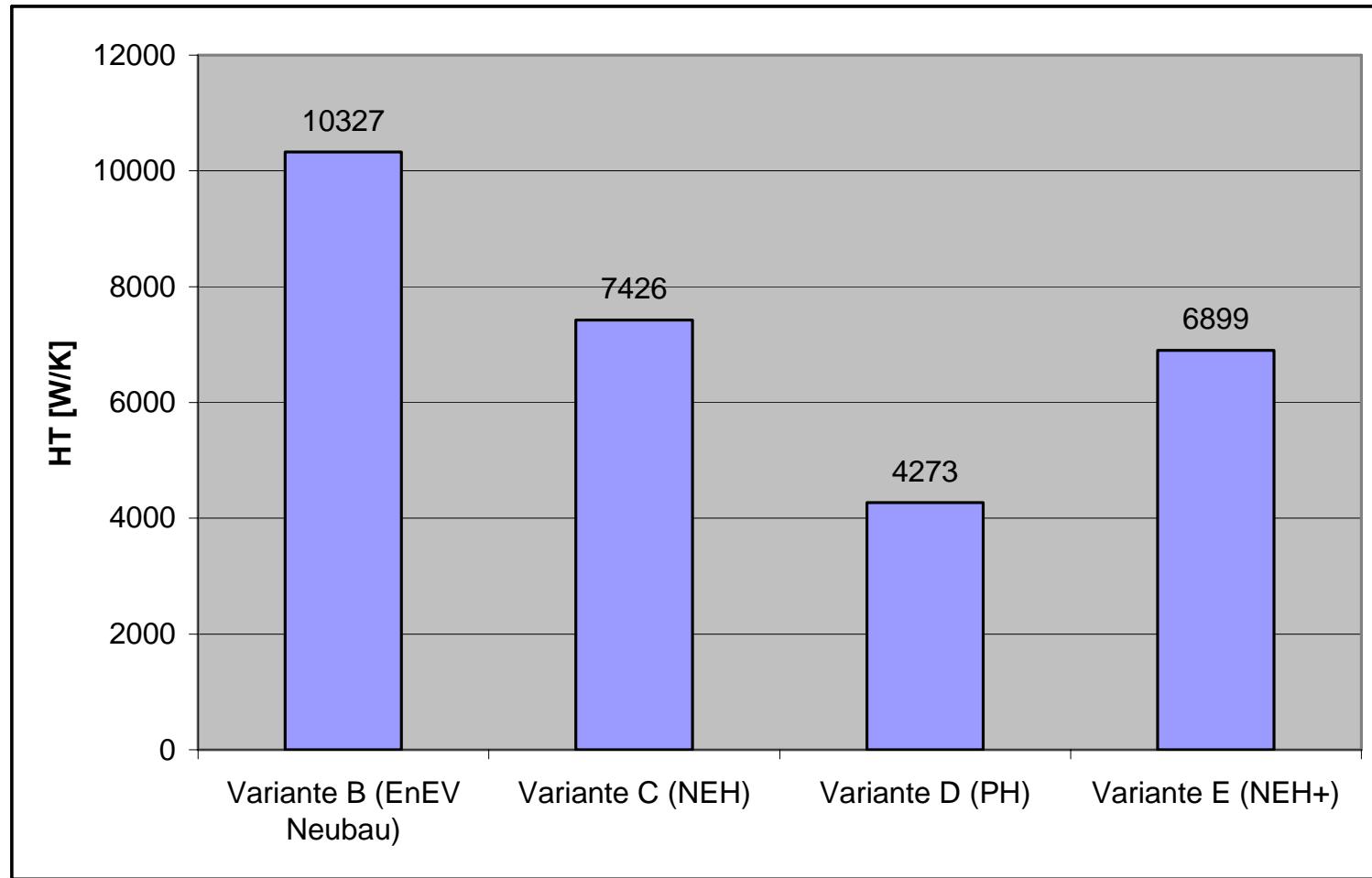


Vergleich zwischen Sanierung und Neubau des TÄG



# Untersuchung der Gebäudehülle

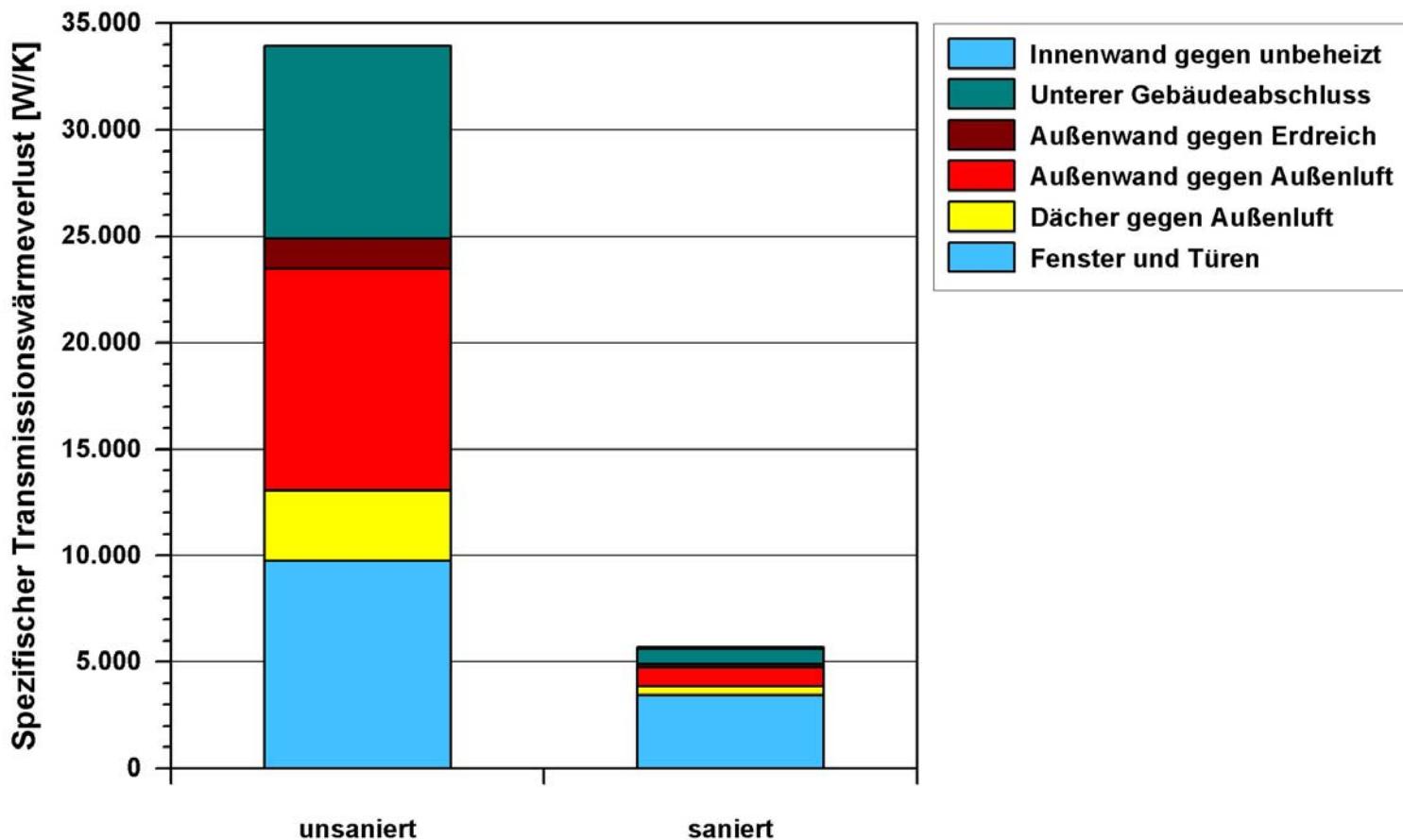
## TÄ Bayreuth: Spezifischer Transmissionswärmeverlust der Gebäudehülle



# TÄG Bayreuth: Spezifischer Transmissionswärmeverlust der Gebäudehülle



Vergleich Transmissionswärmeverlust vor und nach der Sanierung



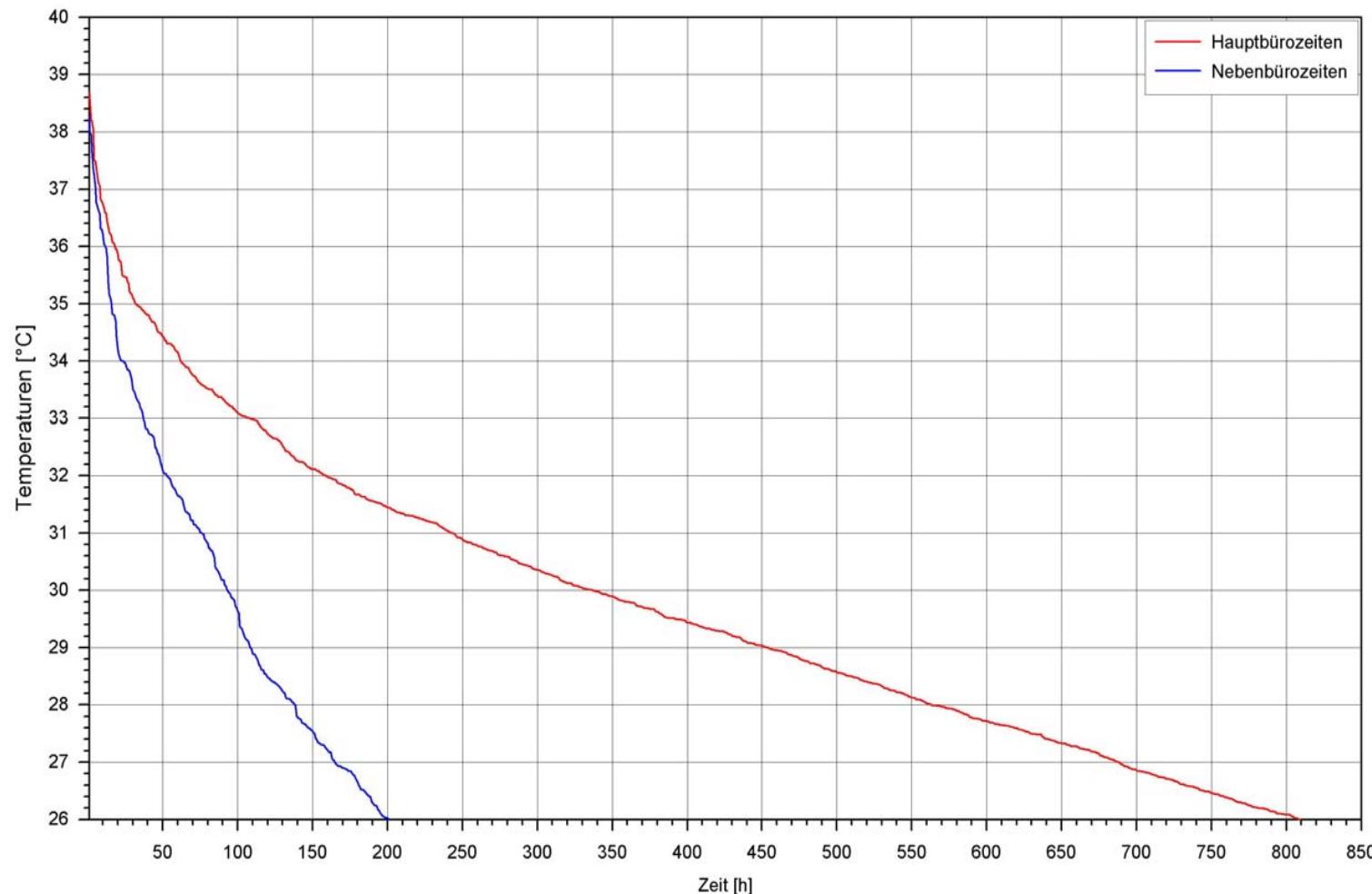
# TÄG Bayreuth: Sommerliche Überhitzung



ZAE BAYERN

Raumlufttemperatur Büro Westseite:

42 % Glasanteil, autom. Verschattung ab 180 W/m<sup>2</sup>, Nachtlüftung an, Kühlung aus

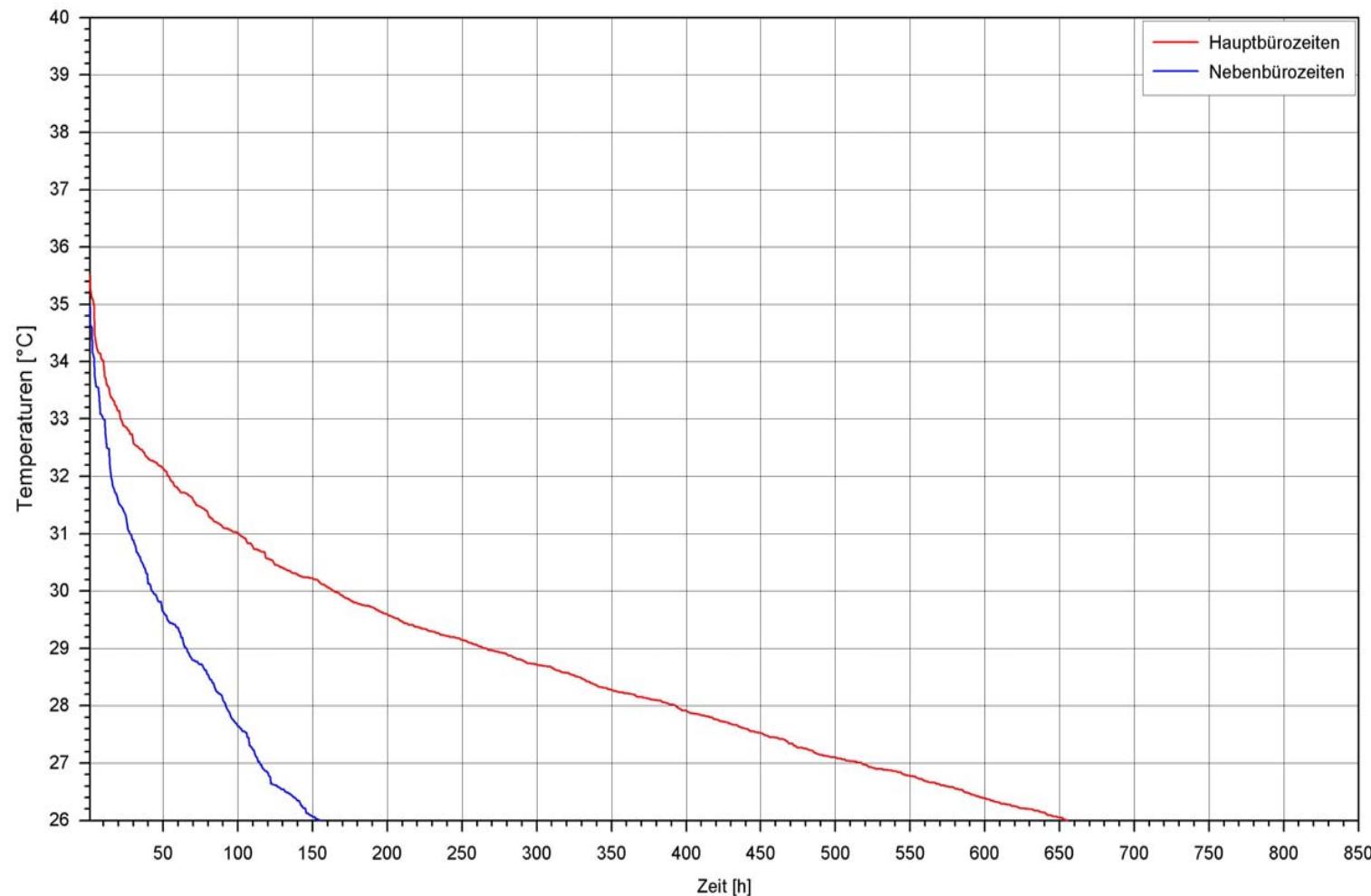


# TÄG Bayreuth: Sommerliche Überhitzung

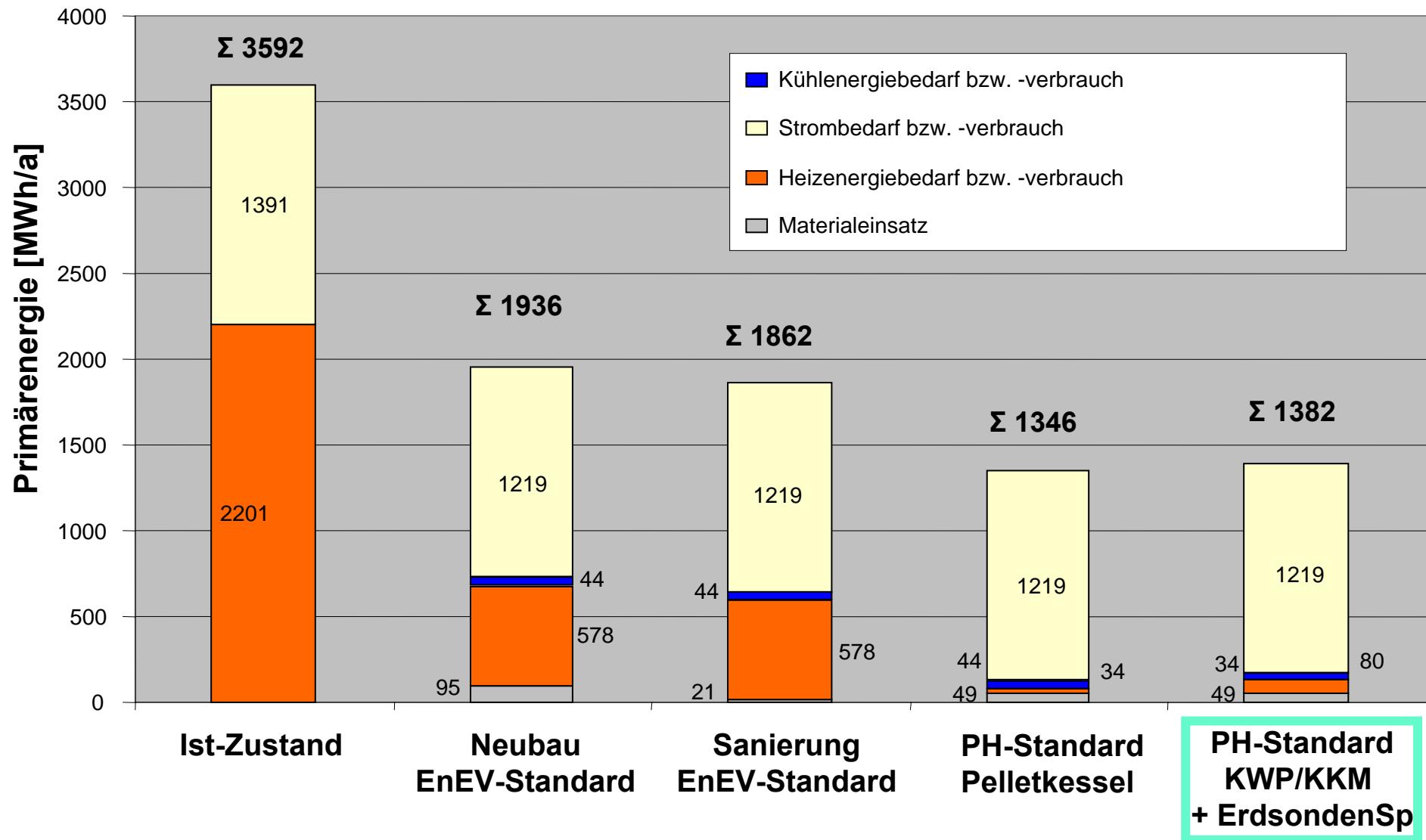


Raumlufttemperatur Büro Westseite:

30 % Glasanteil, autom. Verschattung ab 180 W/m<sup>2</sup>, Nachtlüftung an, Kühlung aus



# TÄG - Energiekonzepte

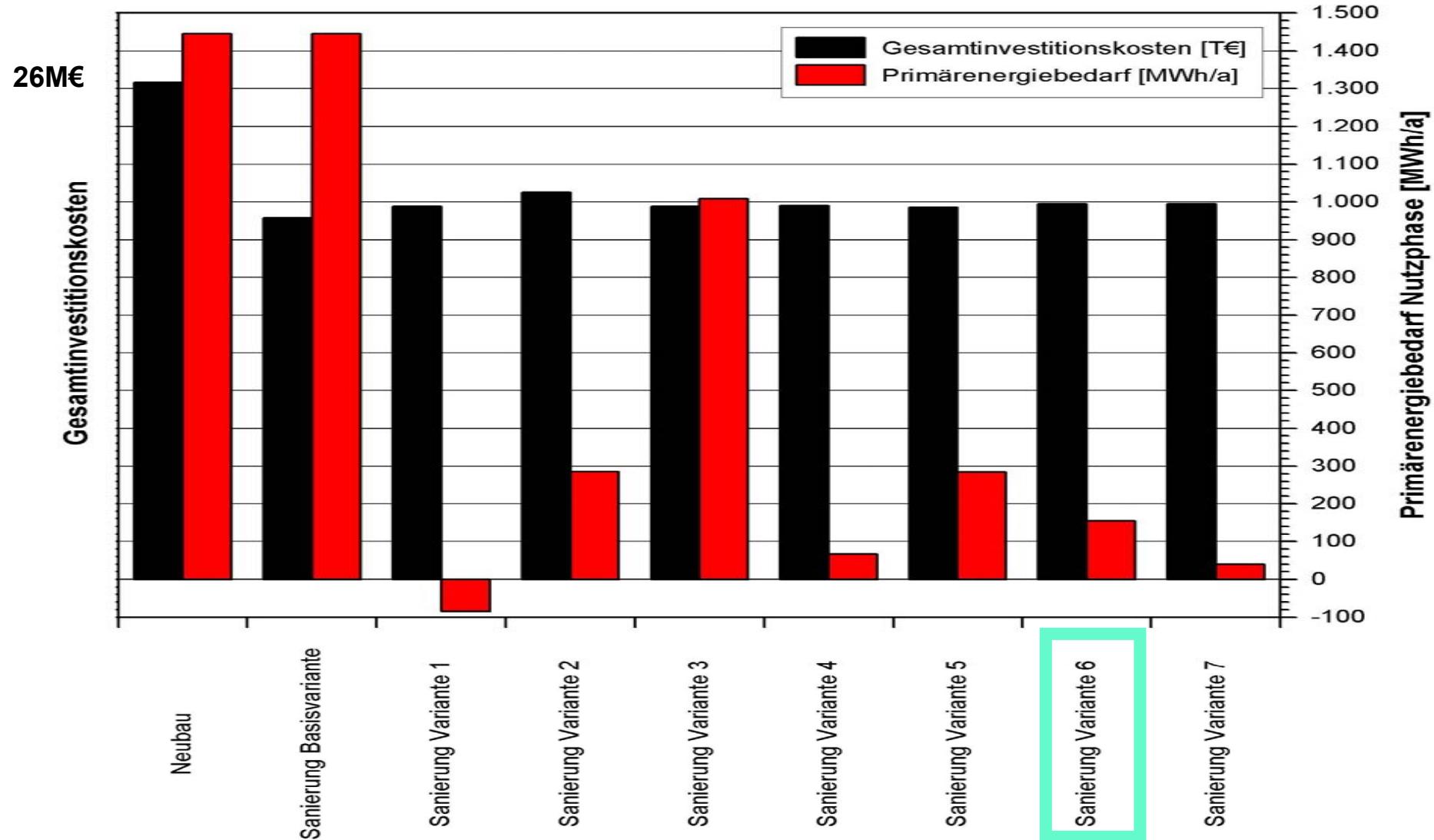


# Investitionskosten und Primärenergiebedarf



ZAE BAYERN

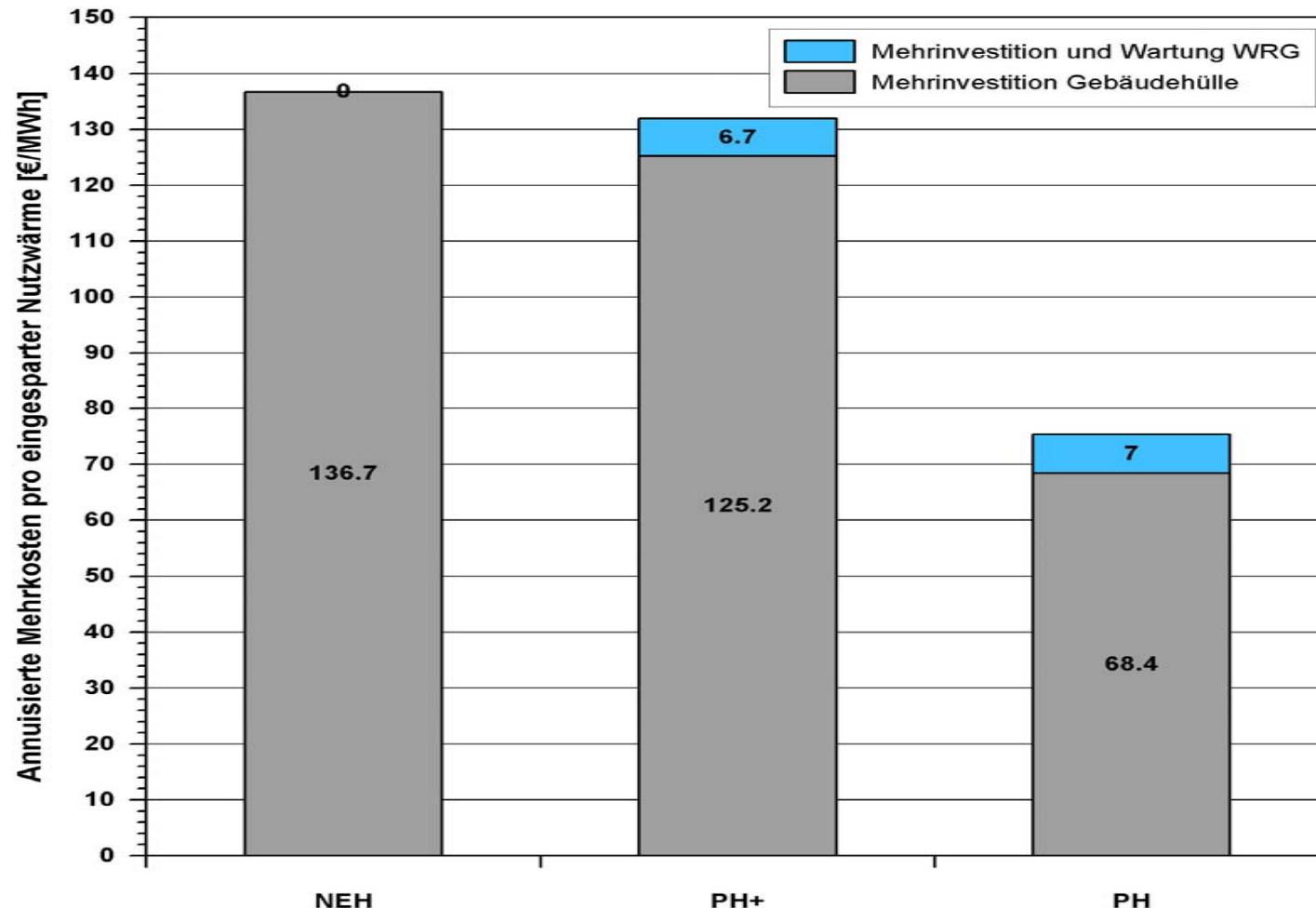
## Investitionskosten und Primärenergiebedarf von Sanierungskonzepten



# TÄG Bayreuth: Annuierte Mehrkosten/Energie



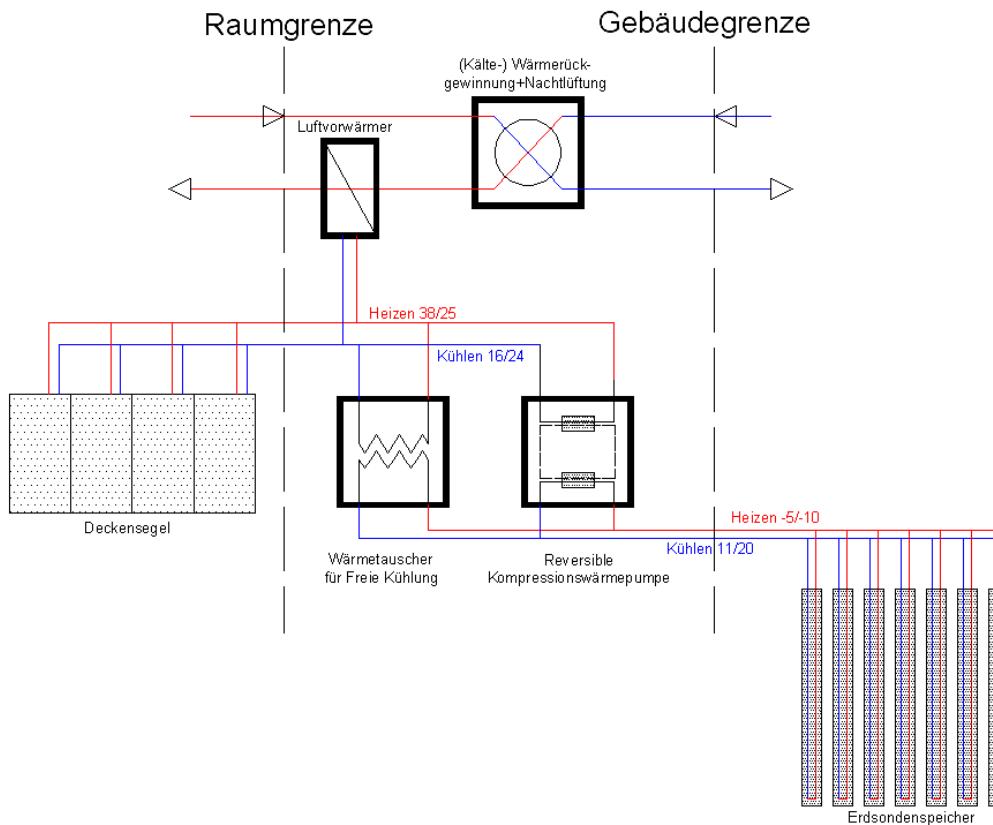
**TÄG: Annuierte Mehrkosten der energetisch wirksamen Maßnahmen der Gebäudekonzepte gegenüber Referenzkonzept, bezogen auf die jährlich eingesparte Nutzwärmeenergie**



# Gebäude und Energiekonzept

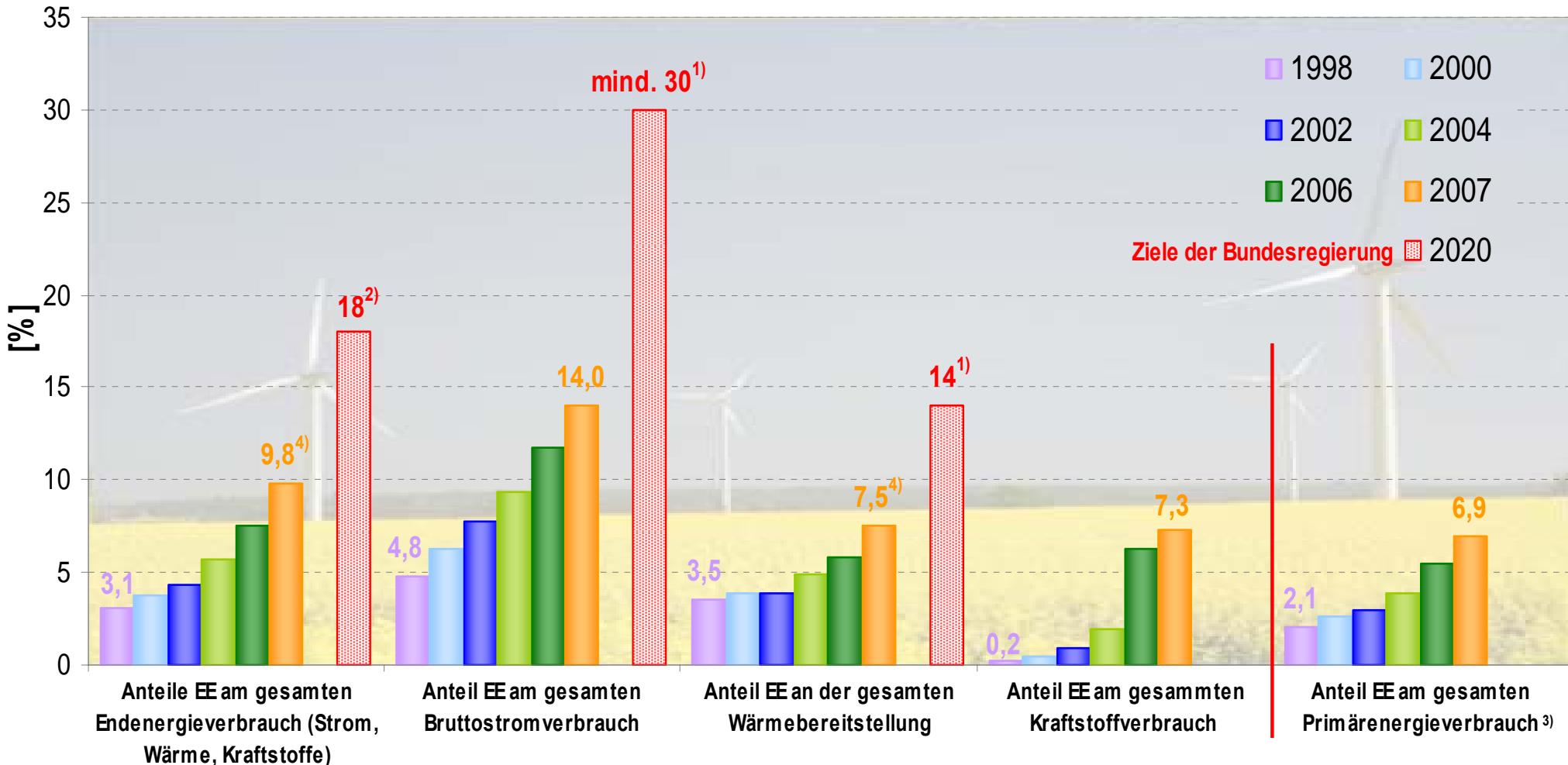


## Ämtergebäude Bayreuth



**Primärenergiebedarf für Wärme + Kälte**  
vor der Sanierung      2.200 MWh/a  
nach der Sanierung      114 MWh/a

# Anteile erneuerbarer Energien an der Energiebereitstellung in Deutschland



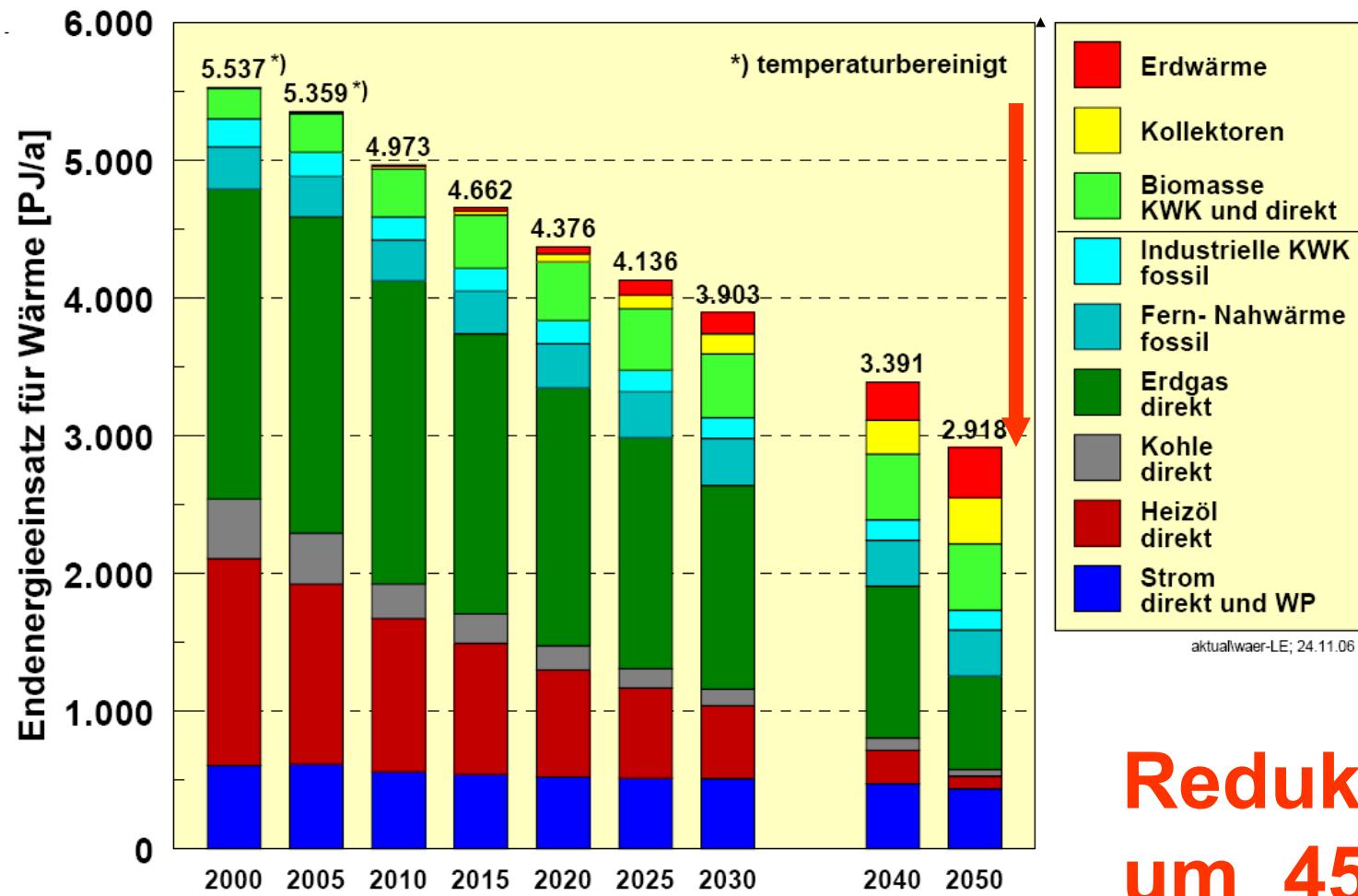
<sup>1)</sup> Quellen: Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG 2009) vom 25.10.2008 und Erneuerbare Energien Wärmegesetz (EEWärmeG) vom 7.8.2008; <sup>2)</sup> Quelle: Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen, am 17.12.2008 vom Europäischen Parlament angenommen; <sup>3)</sup> Anteil Primärenergieverbrauch berechnet nach (der offiziellen) Wirkungsgradmethode; nach Substitutionsmethode: 9,4 %; <sup>4)</sup> Im Vergleich zu EE in Zahlen, Stand: Juni 2008 haben sich die Werte deutlich erhöht. Grund hierfür ist, dass die jeweiligen Bezugsgrößen an aktuelle Daten angepasst wurden: Beim EE-Anteil am Endenergieverbrauch (EEV) musste bislang der Wert von 2006 verwendet werden. Der EEV 2007, der im 2. Halbjahr 2008 veröffentlicht wurde, liegt aufgrund des milden Winters mit 8.585 PJ deutlich unter dem Wert des Vorjahrs. Der milde Winter im Jahr 2007 hatte auch Einfluss auf den Verbrauch von Wärme. Durch die ohnehin deutlich positive Entwicklung der EE-Wärme wird ihr Anteil durch jenen Effekt zusätzlich erhöht.

EE: Erneuerbare Energien; Quelle: BMU-Publikation "Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung", Internet-Update, KI III 1; Stand: 15.12.2008; Angaben vorläufig

# Vision der Wärmebedarfsdeckung 2050



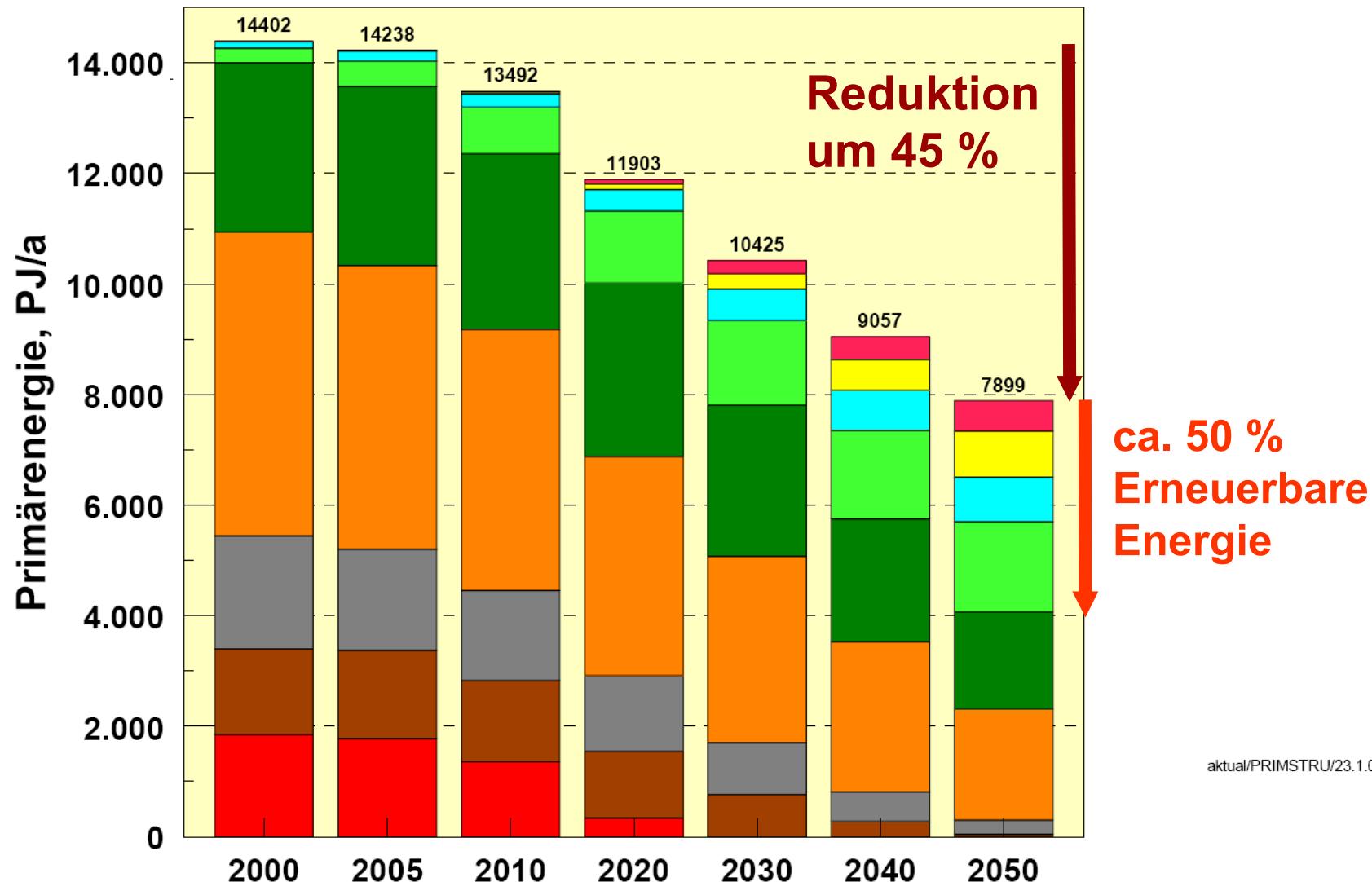
ZAE BAYERN



# Vision: Primärenergieversorgung BRD 2050



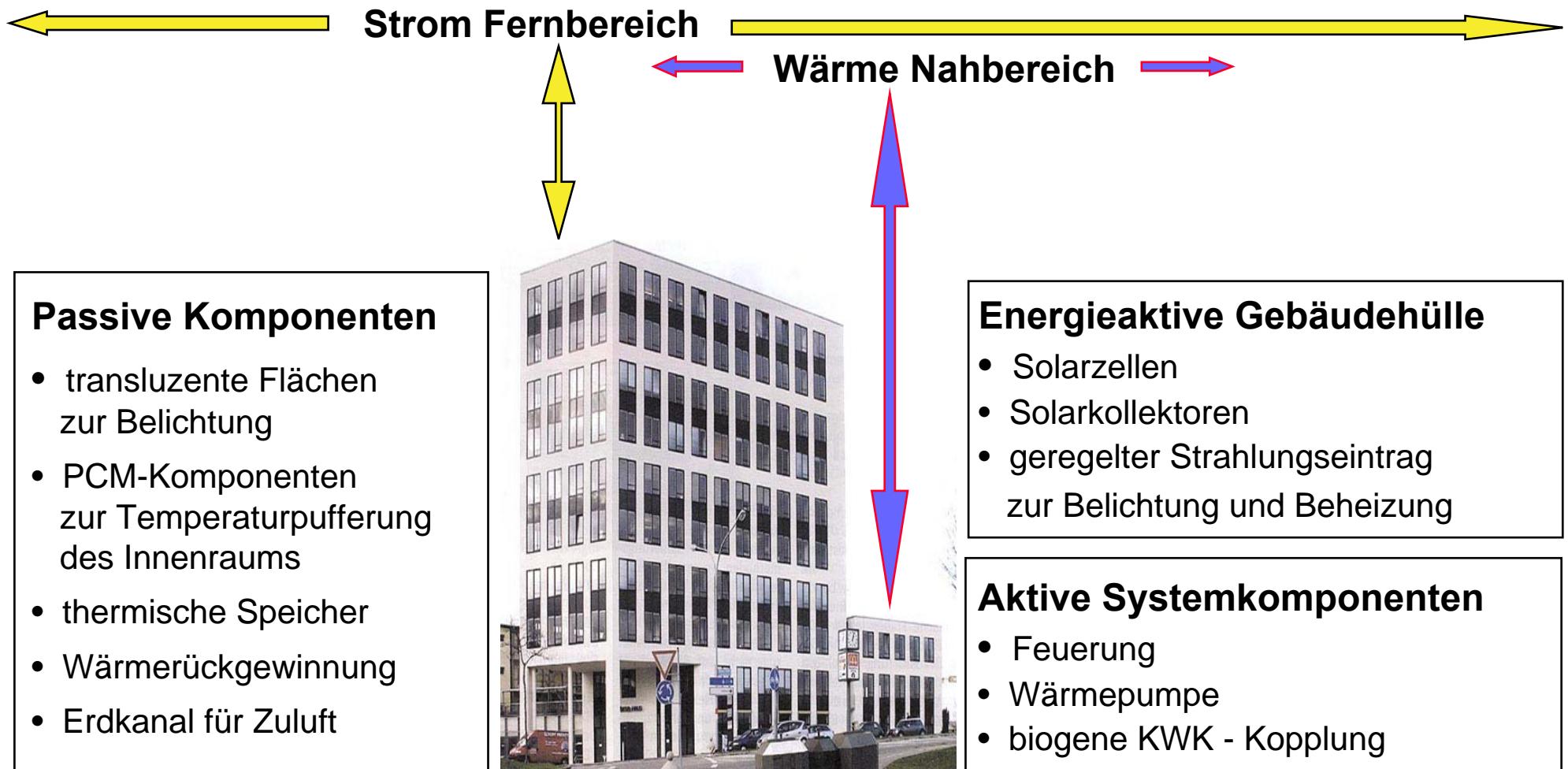
ZAE BAYERN



# Optimierte Energieversorgung für Gebäude



## Leitungsgebundene Energien:



# Plusenergie-Gebäude



Leitungsgebundene Energien:

