



Ansätze einer nachhaltigen Energieversorgung

Energieeinsparung, rationelle Energieverwendung und Einsatz Erneuerbarer Energien

Wolfgang Schölkopf

schoelkopf@muc.zae-bayern.de

Abt. Technik für Energiesysteme und Erneuerbare Energien
Walther-Meissner-Str. 6, 85748 Garching,
www.zae-bayern.de

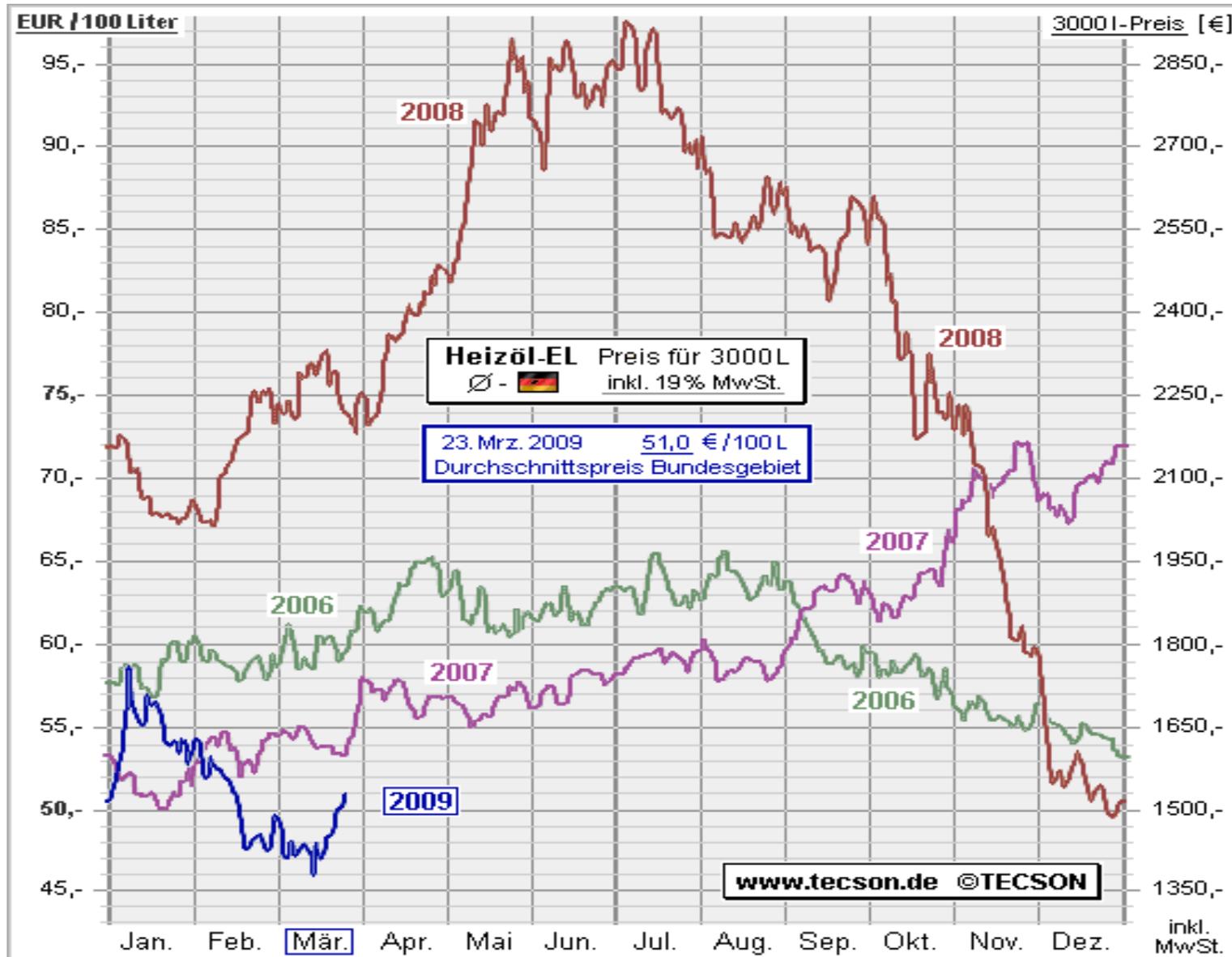
Inhalt:

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

Motivation I: Sichere und preisgünstige Energieversorgung

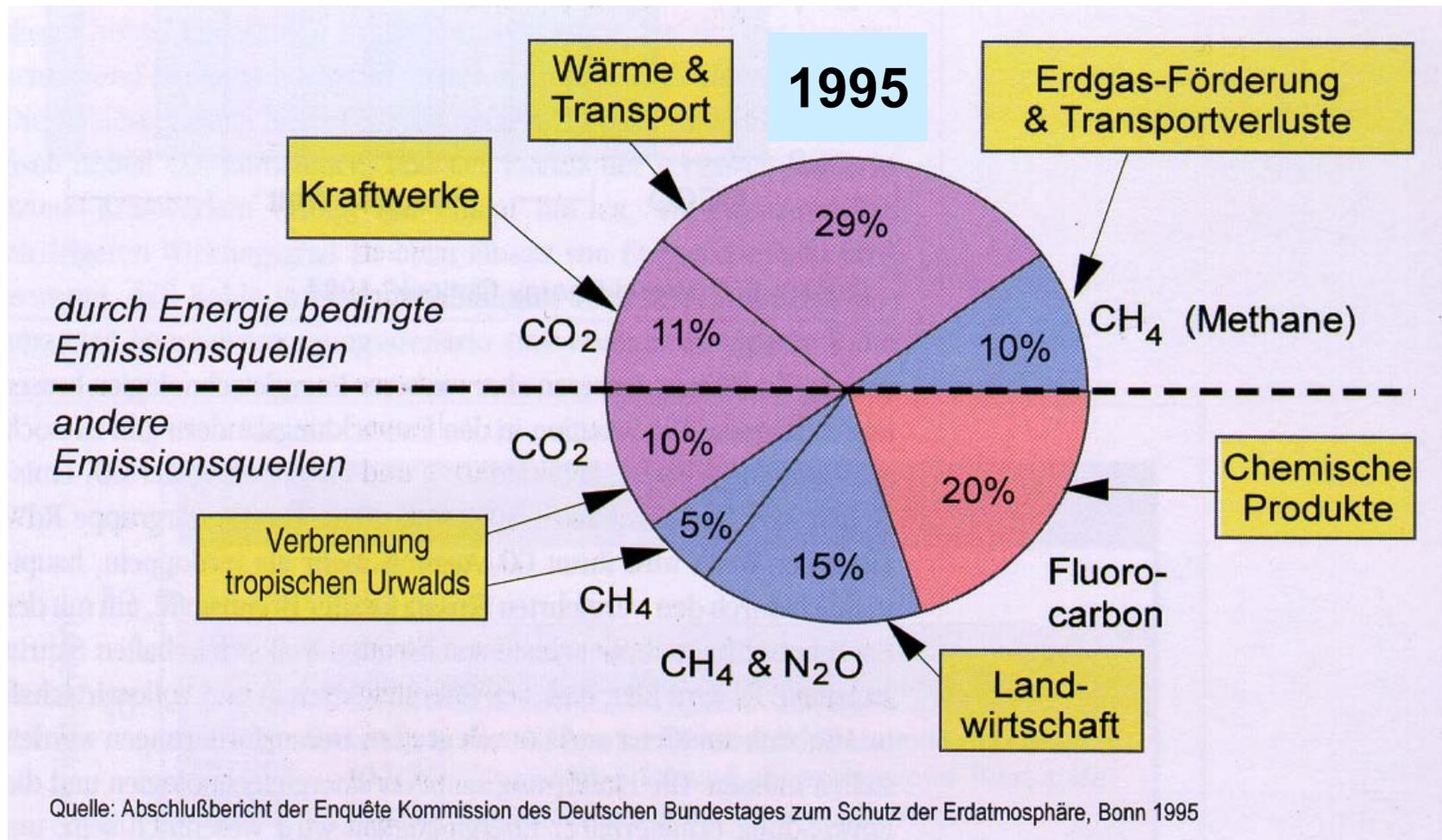


ZAE BAYERN



Motivation II: Antropogener Treibhauseffekt

Ursachen der globalen CO₂-Emission



1990 ca. 22 Mill. → 2006 ca. 30 Mill. t CO₂ Äquivalent/Jahr

aktuell CO₂-Gehalt ca. 380 ppm

Ansatz: Potenzielle Erneuerbarer Energien



ZAE BAYERN

Energieart	globales Angebot	technisch nutzbar	aktuell genutzt
▪ Solarstrahlung	1.900 ¹⁾	2,7 ²⁾	0,001
○ Biomasse	10	0,5 ³⁾	0,06 ⁴⁾
○ 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 \equiv 1

1) Solare Strahlung auf die Landfläche

2) 2 % der globalen Landfläche = $3 \cdot 10^6$ km², Nutzungsgrad = 0,1

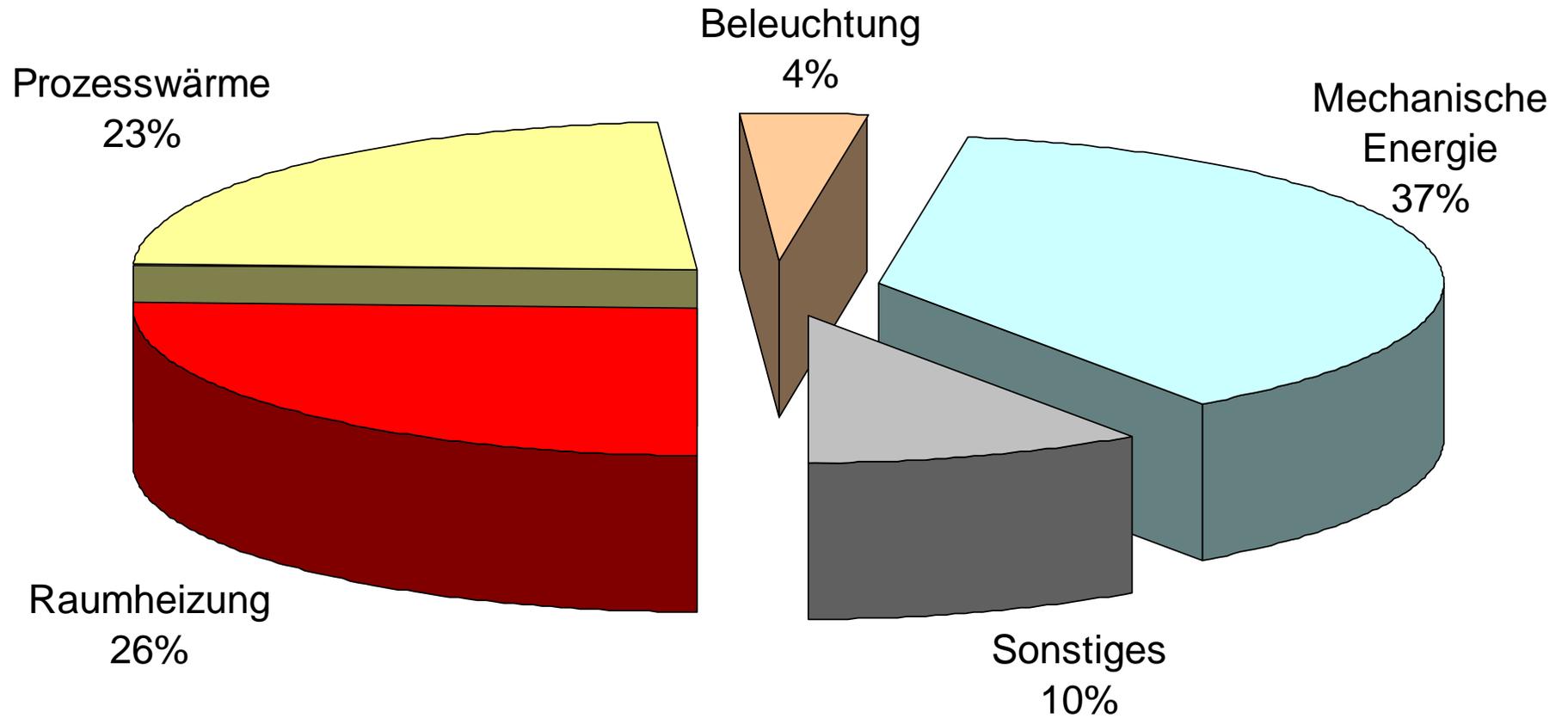
3) Nutzung aller Biomasse aus Land- und Forstwirtschaft

4) Aktuelle globale Nutzung von Biomasse

Primärenergieeinsatz BRD 2005



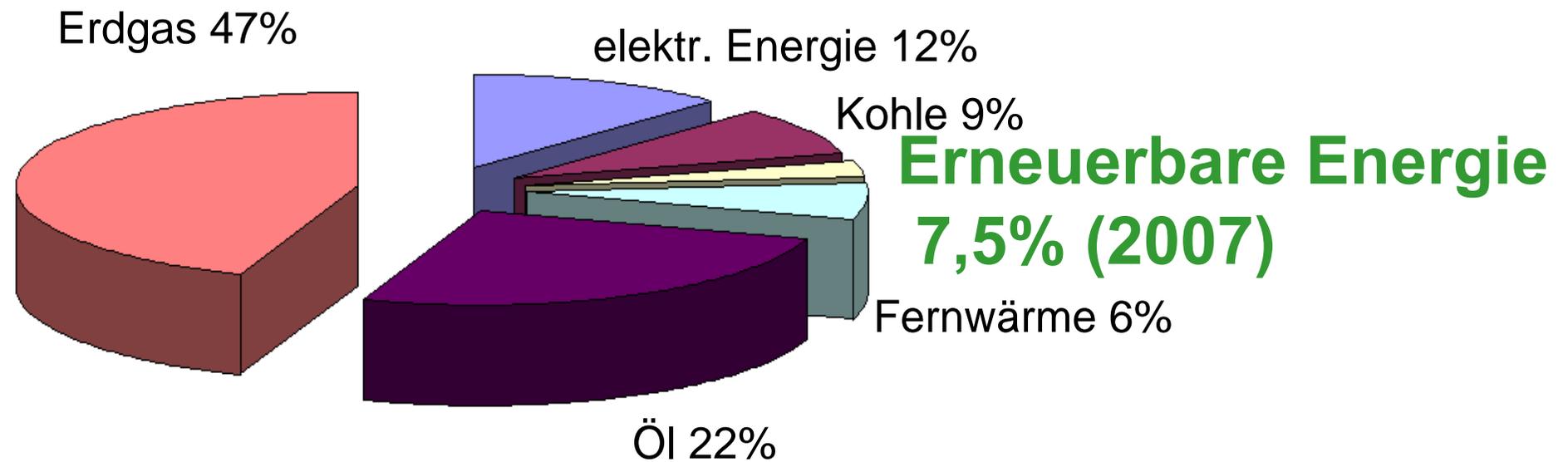
ZAE BAYERN



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

Wärmebedarfsdeckung BRD 2005

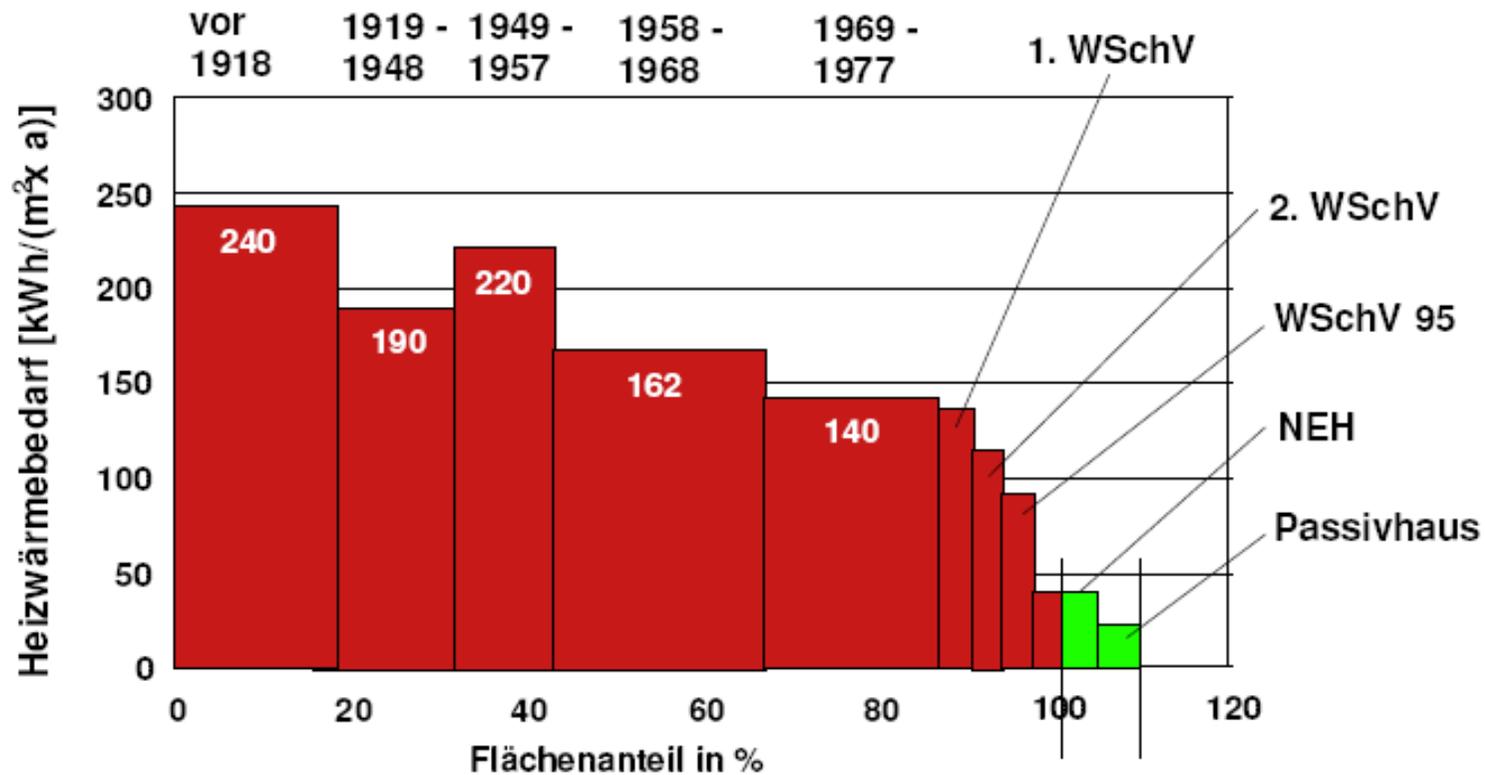
60 % der Endenergie = 5.480 PJ/a (1.522 Milliarden kWh)



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

Heizwärmebedarf in Wohngebäuden

 Gebäudebestand

Maximalwerte für Neubau und Gebäudebestand

- **Limitierter Primärenergiebedarf Neubau:** ca. 70 – 130 kWh/(m²a)

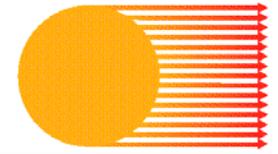
Bewertung der Heizanlagen und der Gebäudehülle
abhängig von Oberflächen/Volumenverhältnis des Gebäudes

- **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



ZAE BAYERN



Innovationen für Gebäude

Ansatz Gebäudehülle



ZAE BAYERN



Infrarot-Aufnahme von Wohnhäuser

Vordergrund

Gebäude mit hoch-effizienter Dämmung

Hintergrund

unsanierter Altbau mit gedämmtem Dach

-  warme Oberfläche
-  moderate Temperatur
-  kalte Oberfläche

Vakuumisolationen

zylindrische Gefäße:
Thermoskannen und Kryogefäße



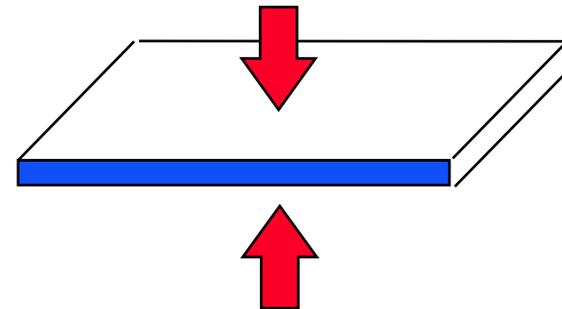
Atmosphärendruck

10 t / m²

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

flache Elemente:
Vakuum-Isolations-Paneele (VIP)

Druck tragendes Füllmaterial

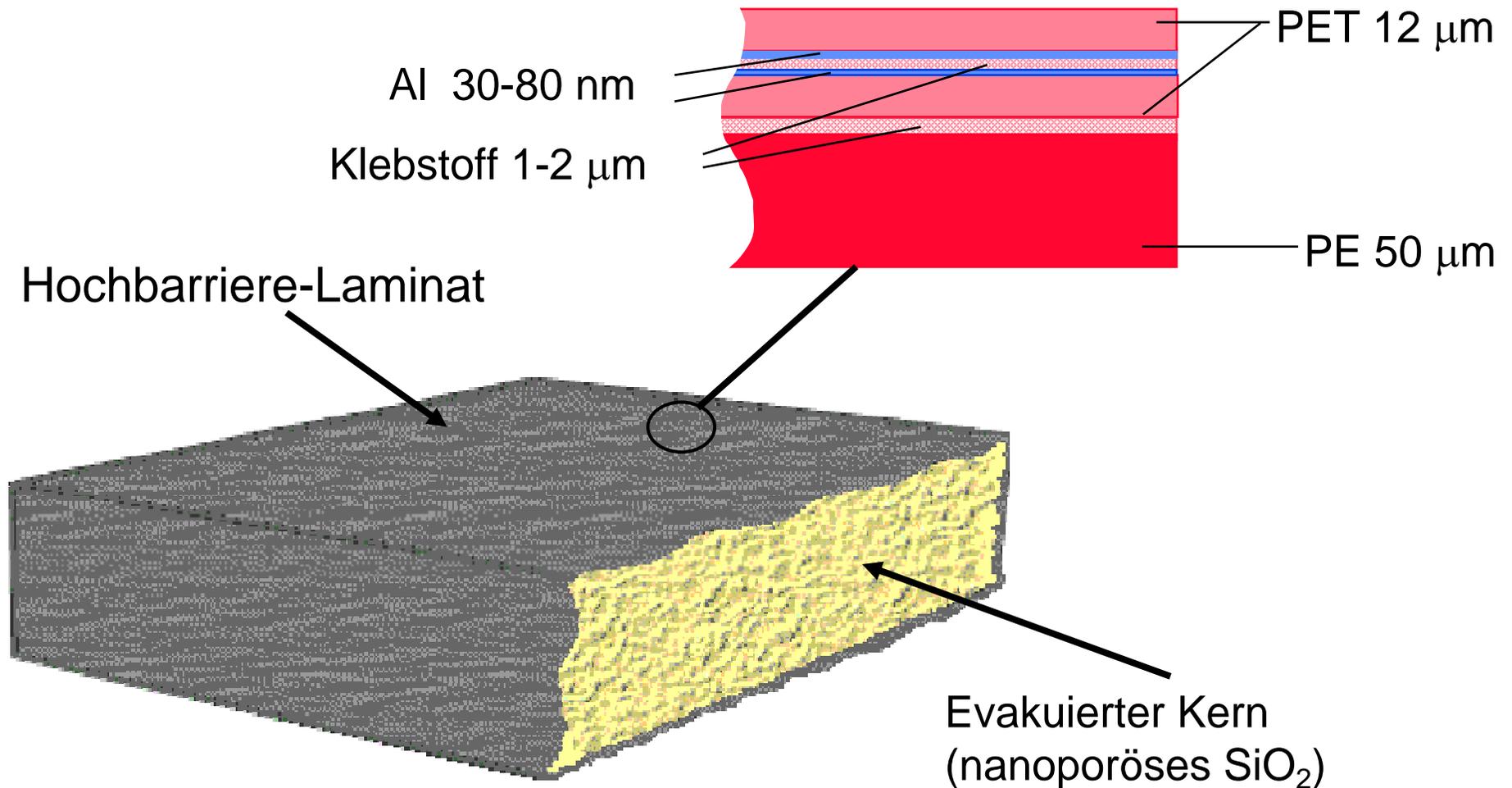


$\lambda = 0,001$ bis $0,008$ W/(mK)

Vakuumisolationspaneel

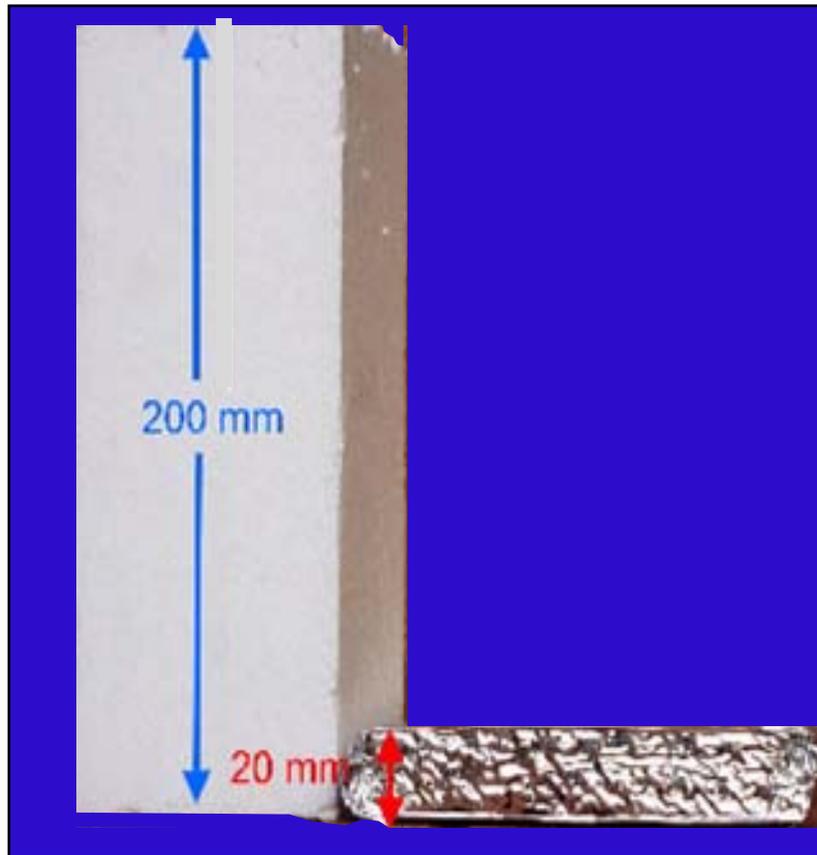


ZAE BAYERN



Gasdurchlässigkeiten: $< 0,0005 \text{ cm}^3/(\text{m}^2\text{d})$

Vakuumisolationspanel



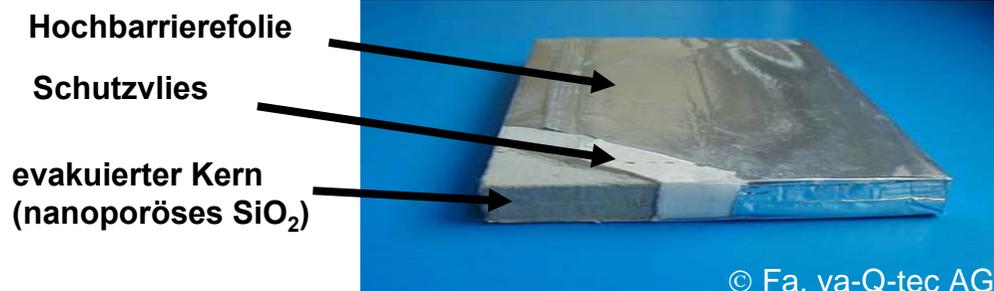
EPS

VIP

Wärmeleitfähigkeit VIP:

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

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



Mit Vakuumdämmung sanierte Reihenhausfassade



Architekt: Florian Lichtblau, München 2001

VIP gedämmte Betonfertigteile



Vorgefertigtes Wandelement mit VIP:



Neubau mit vakuumgedämmten Betonfertigteile



ZAE BAYERN



Architekten: Weinbrenner-Single, 2005

© ZAE Bayern

VIP - Dämmung am Neubau Seitzstraße München



ZAE BAYERN



Demonstrationsobjekt

1.350 m² Nutzfläche
für 8 Wohnungen und 6 Büros

3-fach Verglasung
kontrollierte Lüftung
mit Wärmerückgewinnung

Heizenergiebedarf 20 kWh/m²a

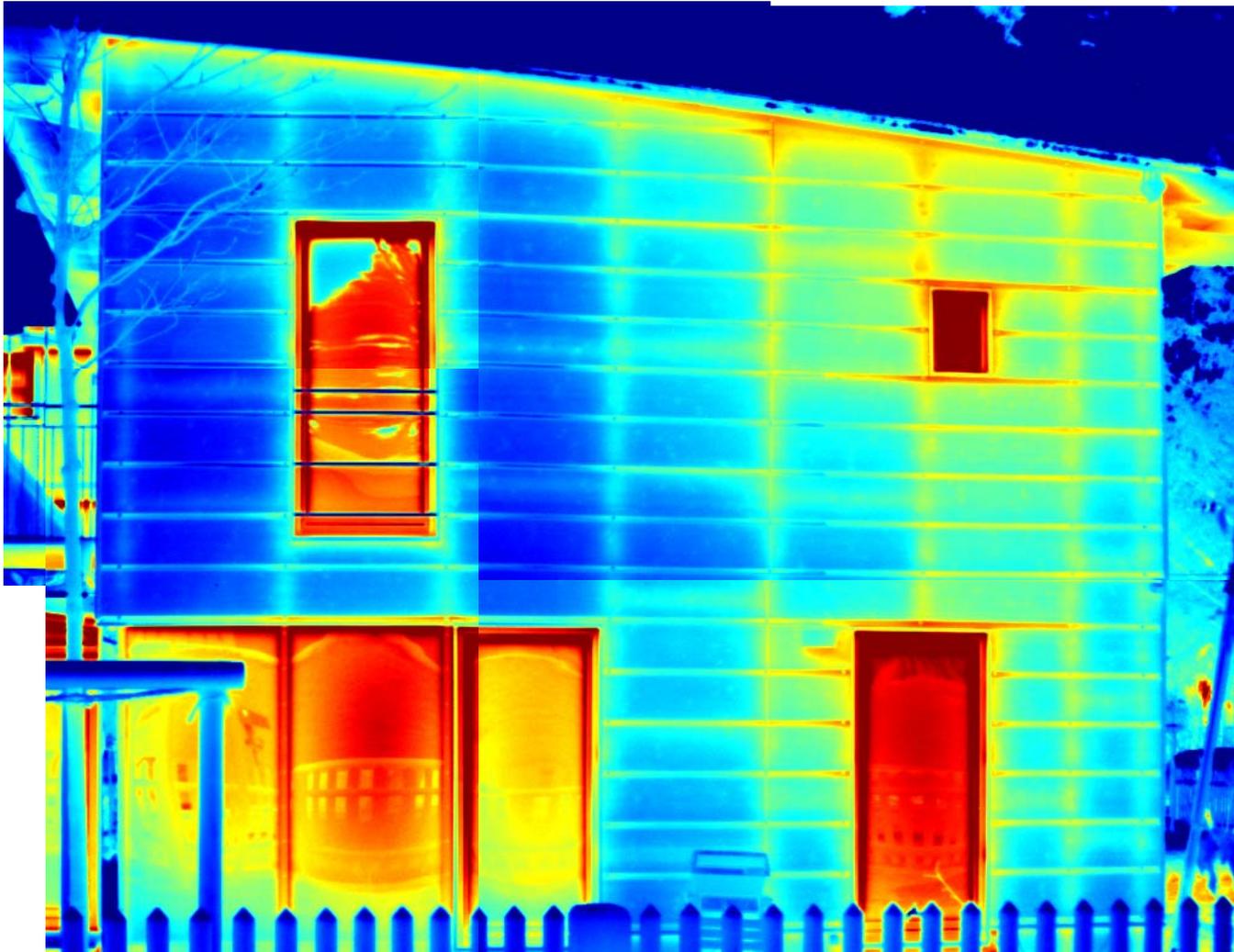
Restwärmedeckung mit Mini-BHKW
in Kraft-Wärme-Kopplung

Pool Architekten, München 2003

Vakuumisoliertes Glas (VIG)



ZAE BAYERN



- Außenwand:

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

- Fenster:

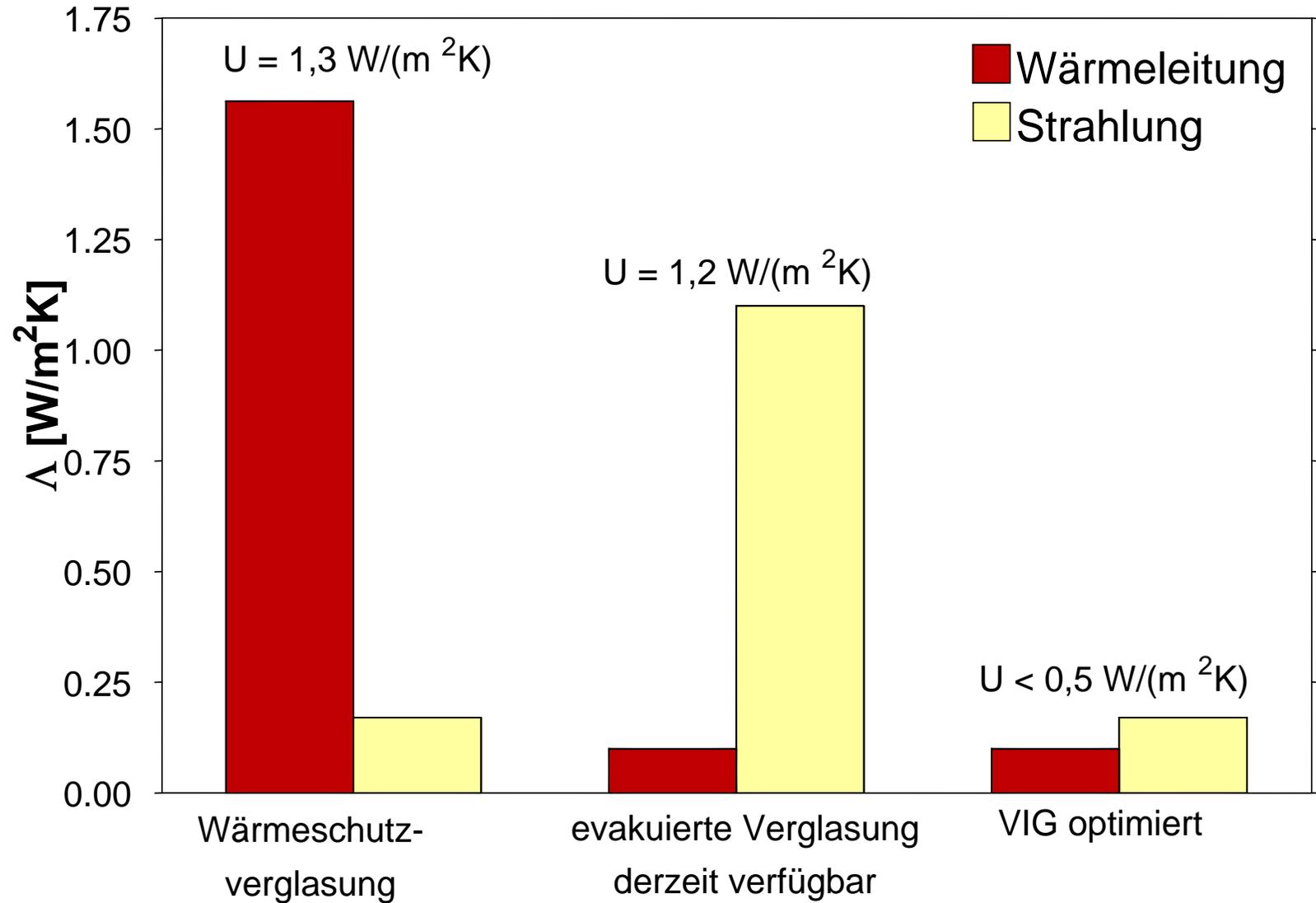
$$U \approx 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

2-fach-Verglasung

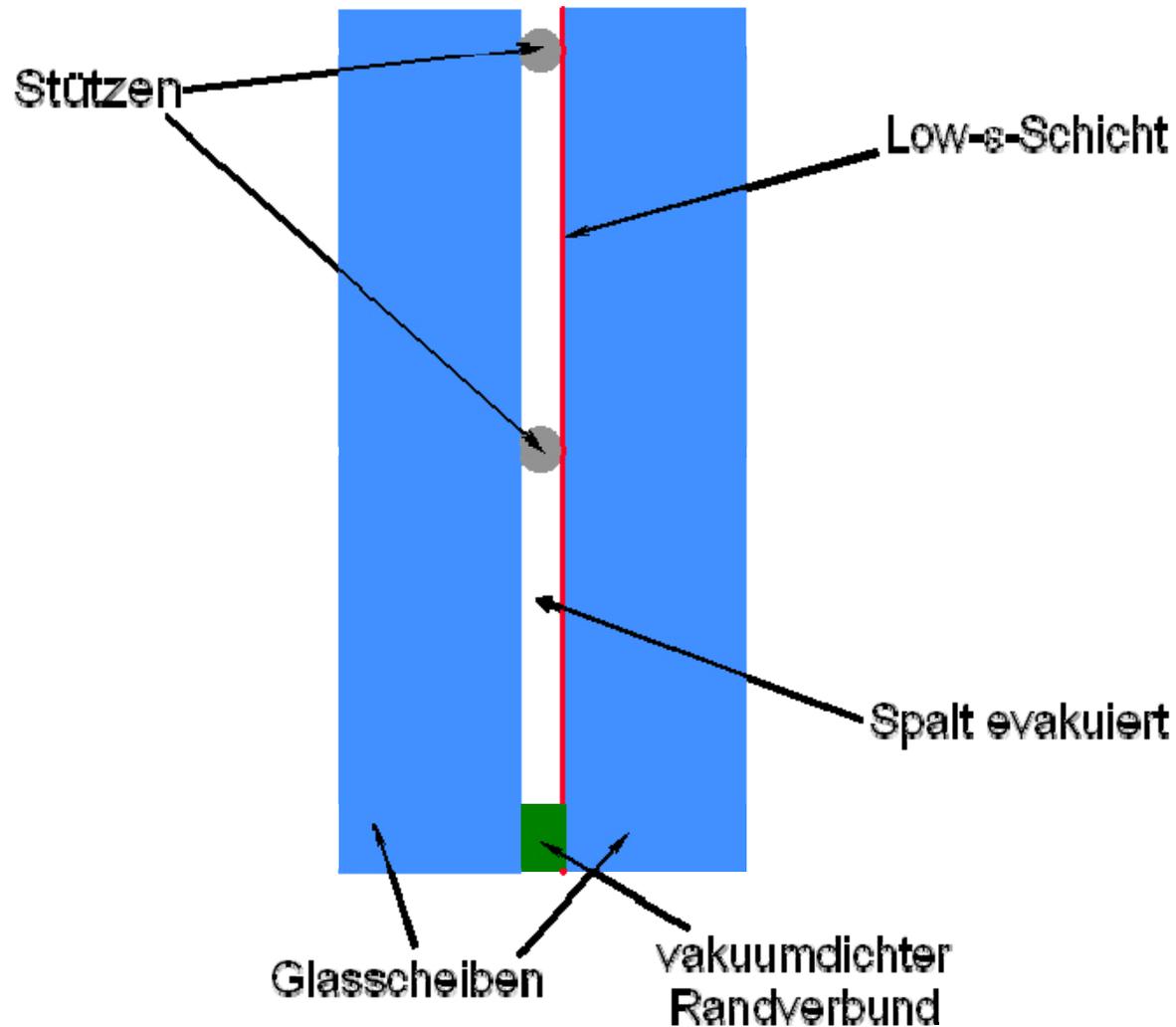
$$U \approx 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

3-fach-Verglasung
(hohes Gewicht)

Vergleich Fensterverglasungen



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

- Optimiertes 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

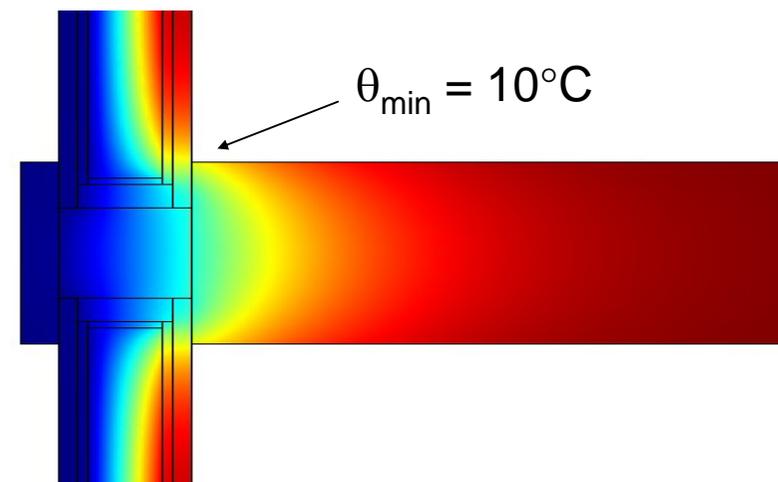


Effiziente und schlanke Wärmedämmung
der Gebäudehülle:

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

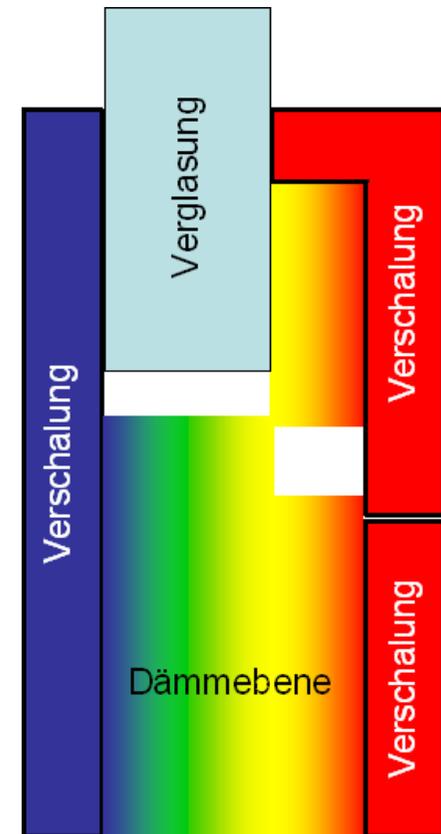
Pfosten-/Riegelkonstruktion mit
Vakuumdämmung:

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°C .



- Entwicklung hochwärmedämmender 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 hochwärmedämmende 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, hochwärmedämmender Rahmen durch vollständige thermische Entkopplung von Warm- und Kaltseite (schematisch)

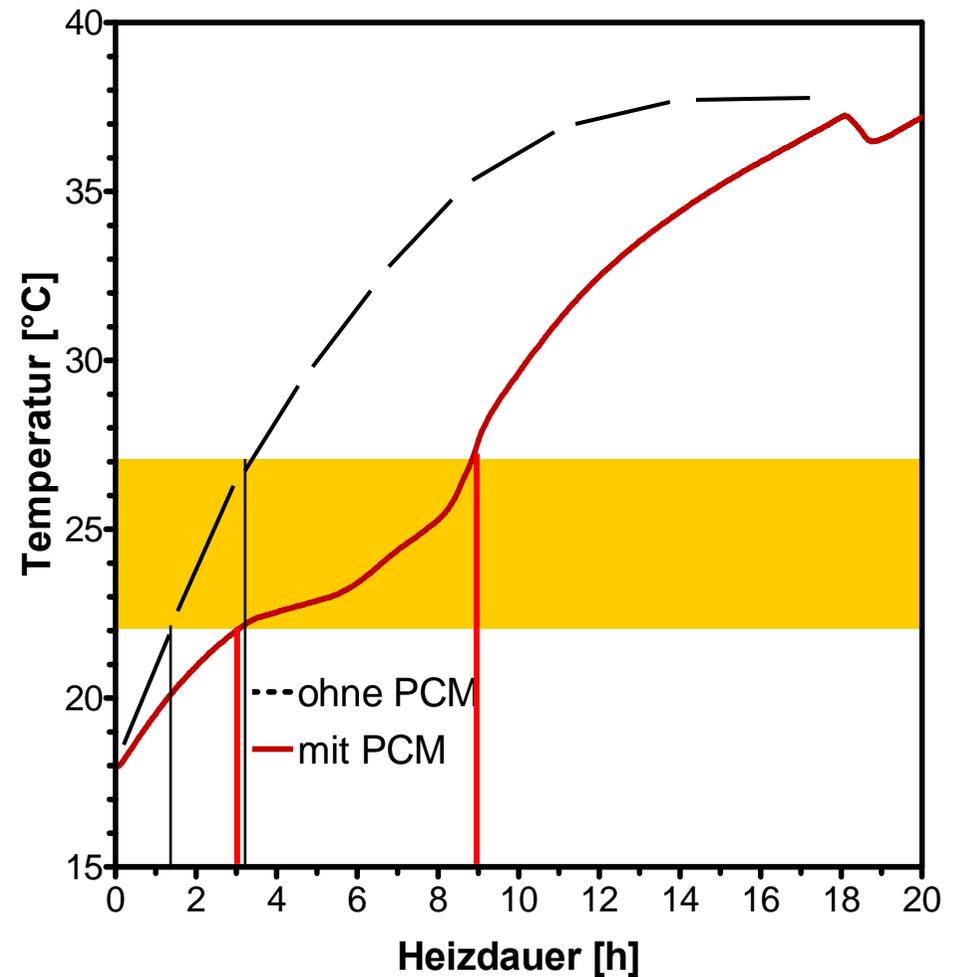
Prinzip Latentwärmespeicher (PCM)



ZAE BAYERN



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



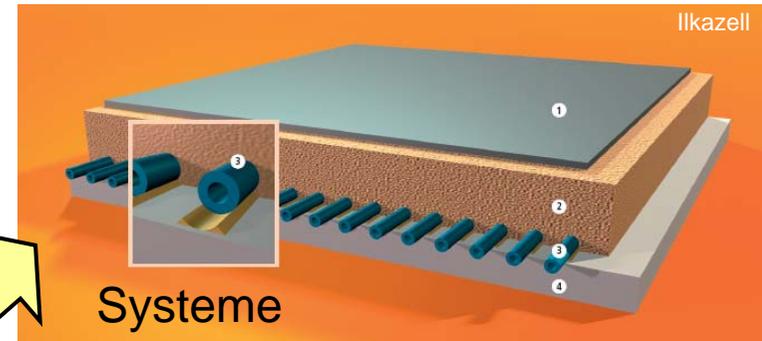
PCM - Bauprodukte mikroverkapselte Paraffine



ZAE BAYERN



- Gipsbauplatten
- Putze
- Spachtelmassen



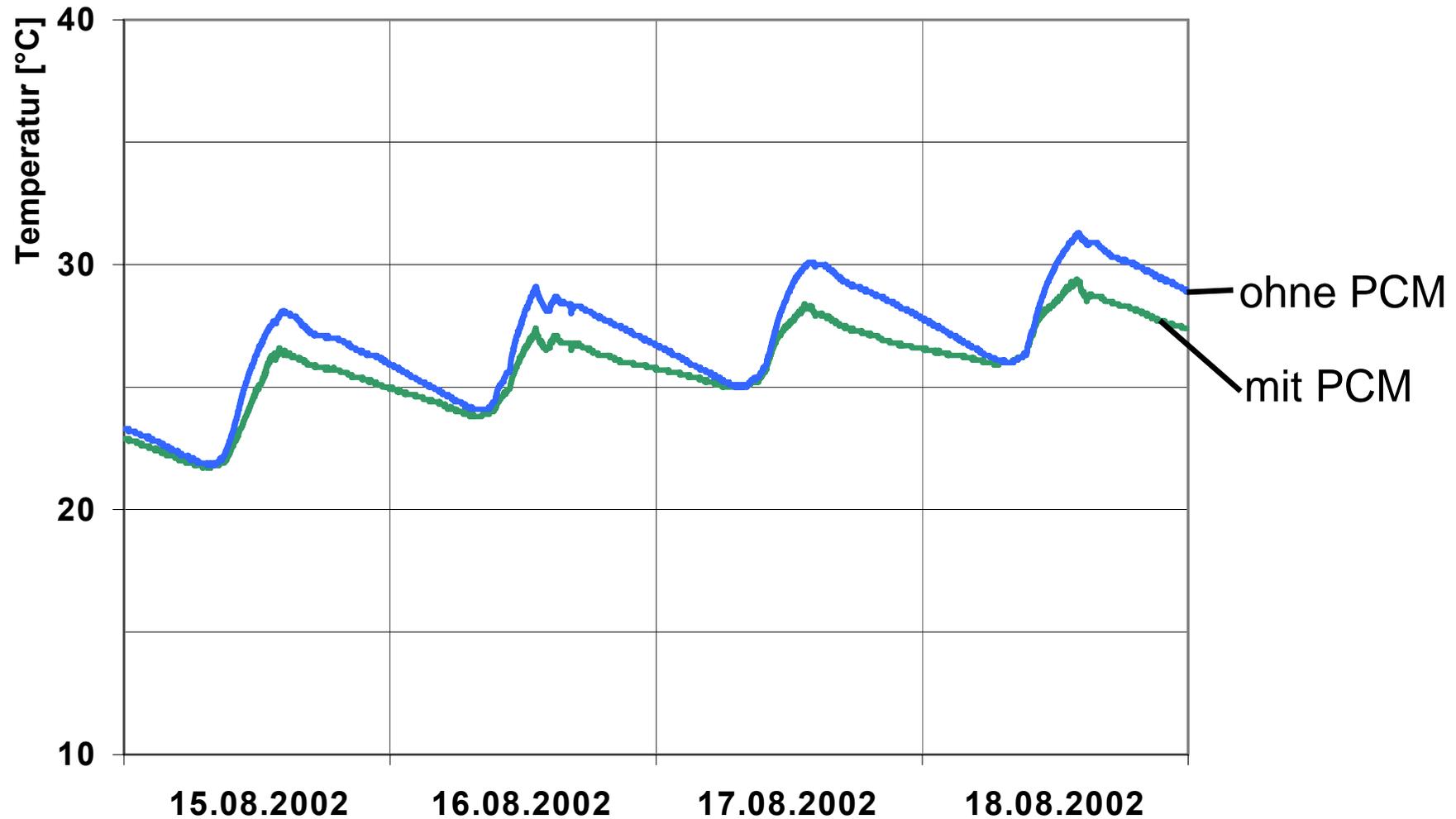
- Kapillarrohrmatten
- Kühldecken

+ 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





ZAE BAYERN



**Nutzung
Erneuerbarer Energien**

Nahwärmekonzept: Solar + KWP + Speicher



BAYERN

Wohnsiedlung

Attenkirchen

20 Einfamilienhäuser

5 Doppelhäuser

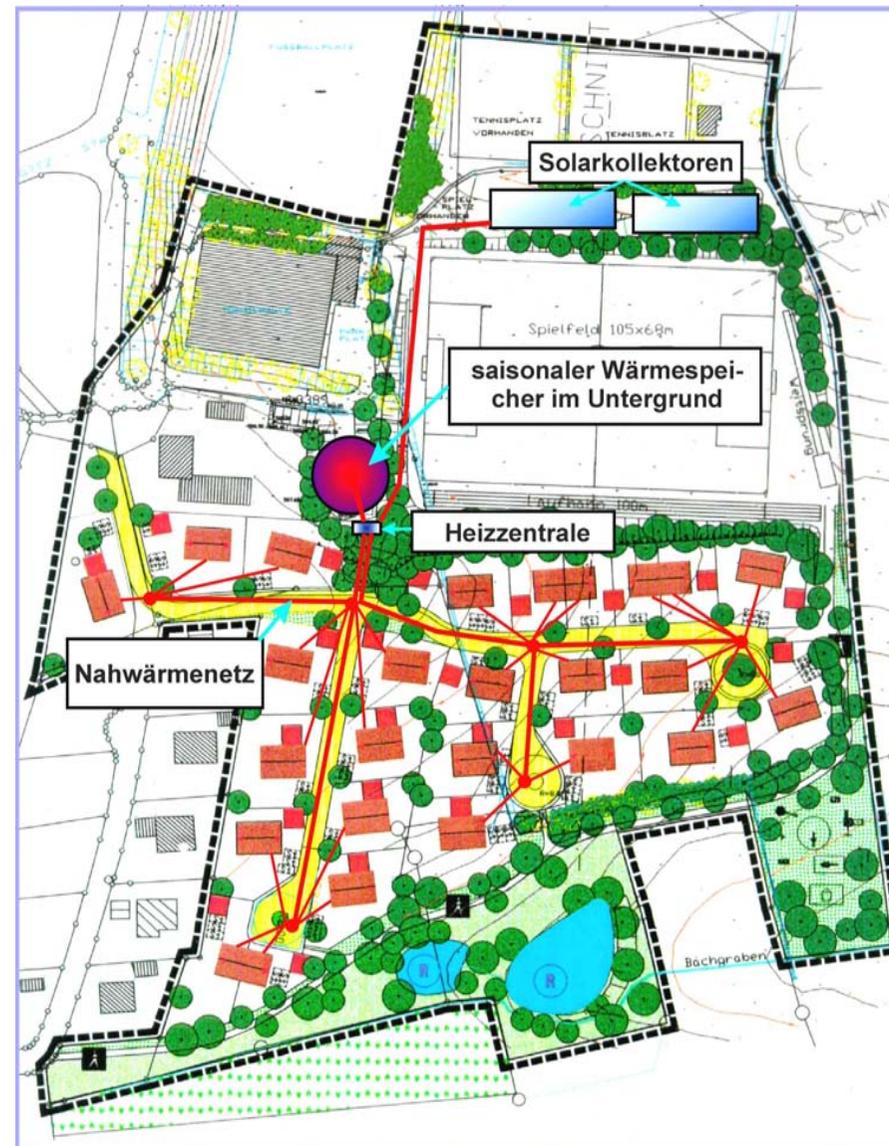
6.200 m² Nutzfläche

Gesamtwärmebedarf

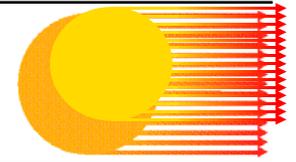
H_z +WW = 487 MWh/a

55 % solarer Deckungsanteil

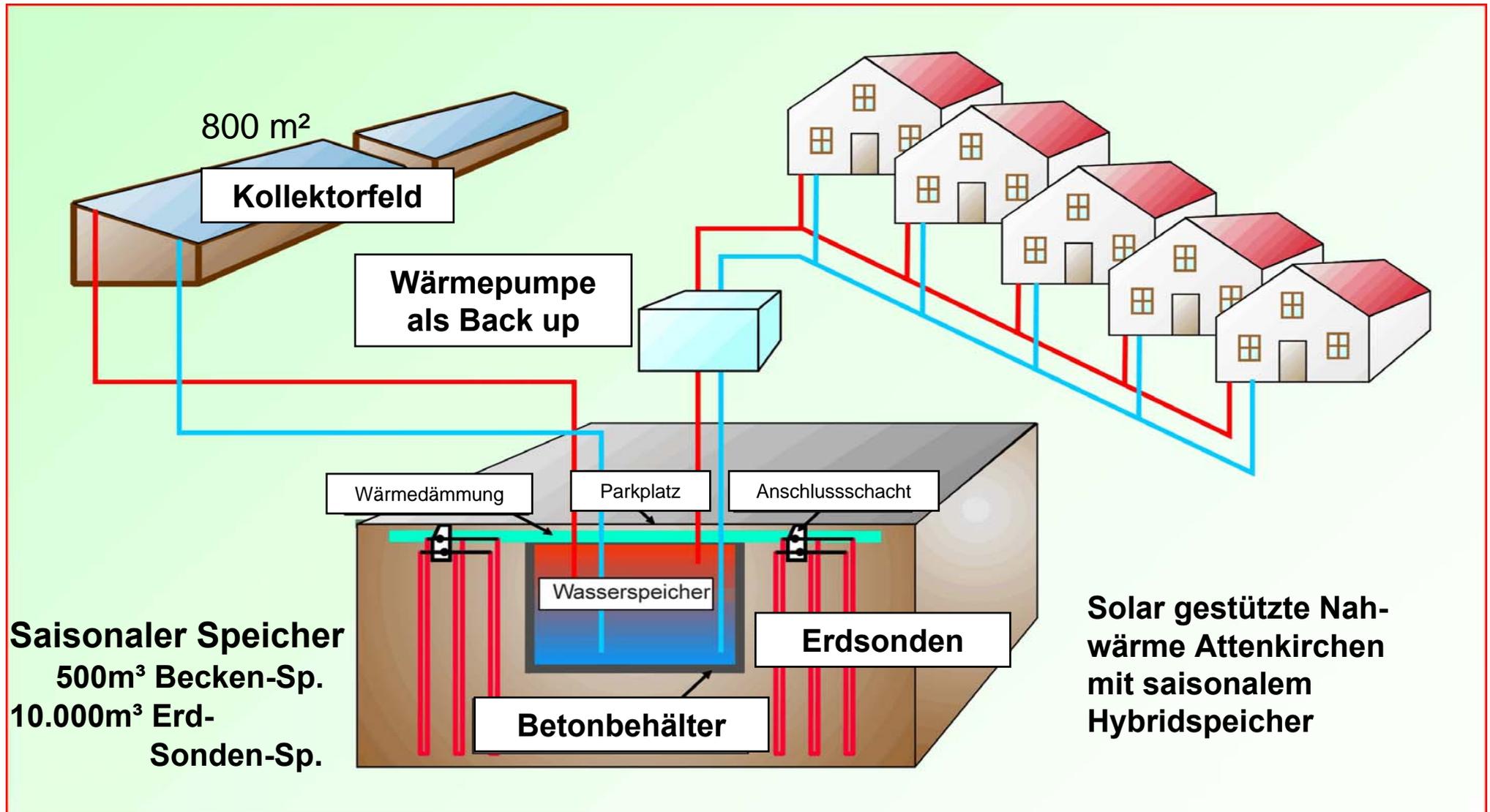
58 % CO₂-Einsparung



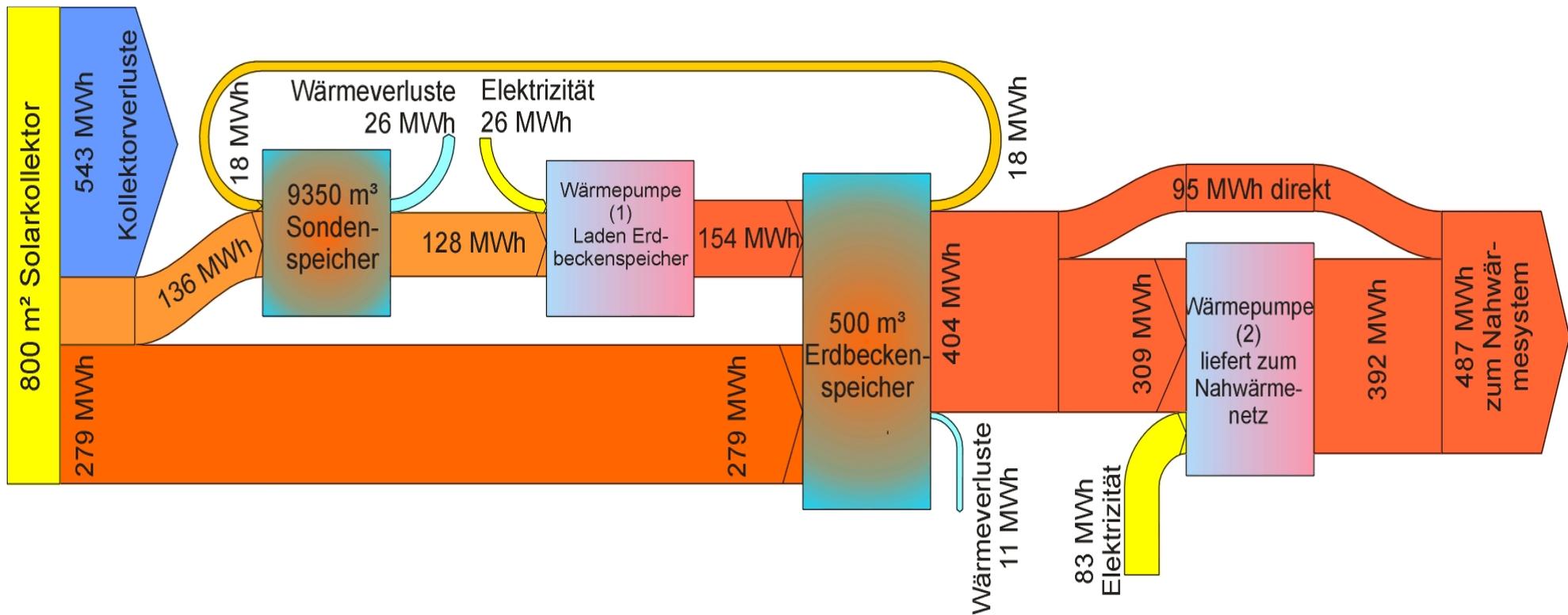
System



ZAE BAYERN



Jahresenergiebilanz

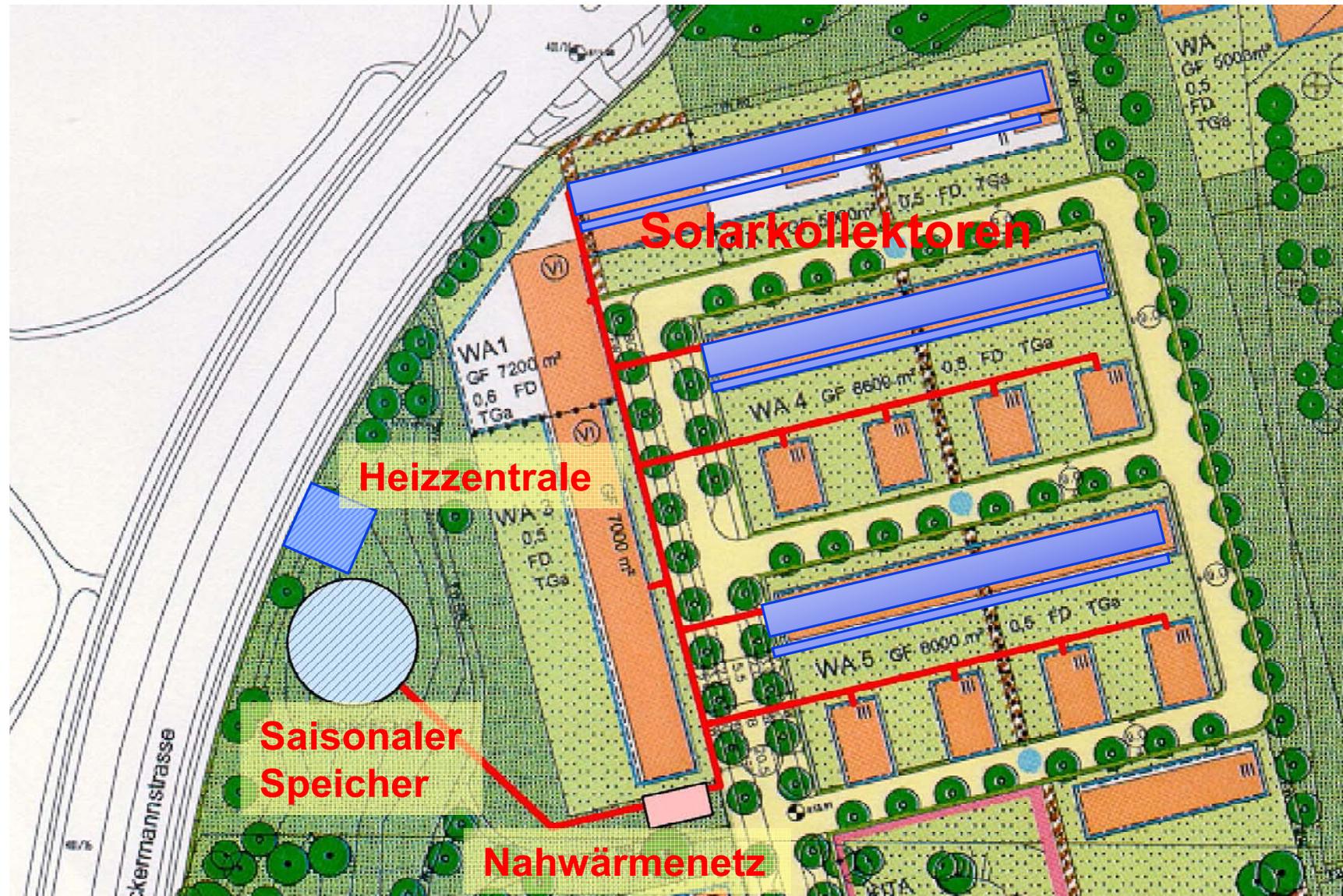


55 % solarer Deckungsanteil
58 % CO₂-Einsparung

Solare Nahwärme München/Ackermannbogen



ZAE BAYERN



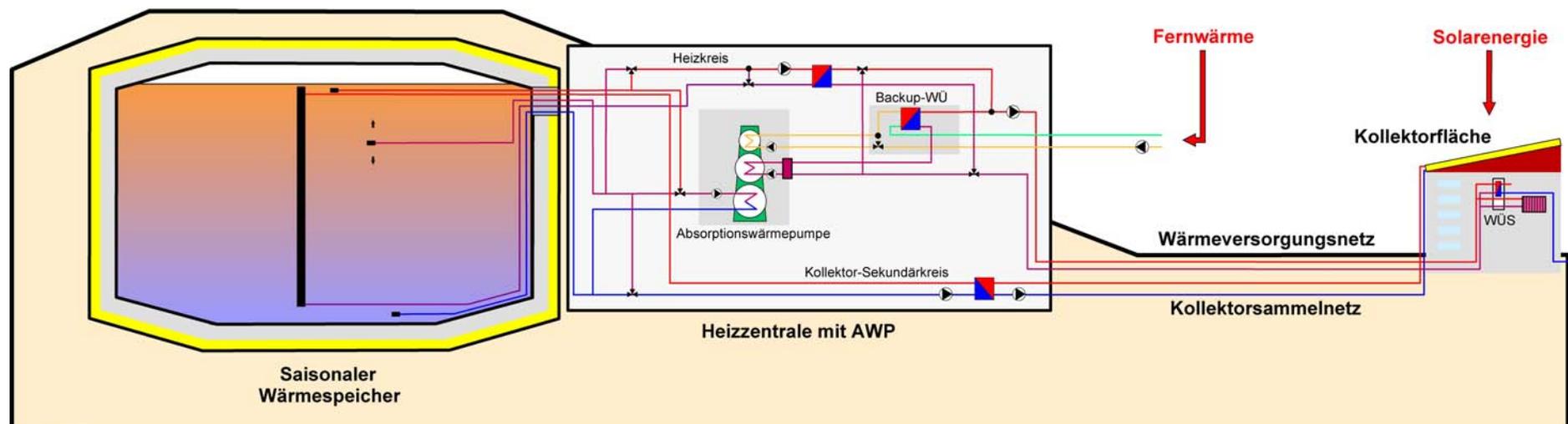
Energiekonzept am Ackermannbogen



- Neubauten mit insgesamt 320 Wohnungen und 30.400 m² BGF
- Ziel: 50 % solare Deckung von 2.300 MWh/a für Heizung und Brauchwarmwasser

Solares Nahwärmesystem:

- 50% Wärme aus 2900 m² Kollektoren kombiniert mit 6.000 m³ Warmwasserspeicher
- 50% aus Fernwärme über eine Absorptionswärmepumpe, Speicher ist Niedertemperaturreservoir



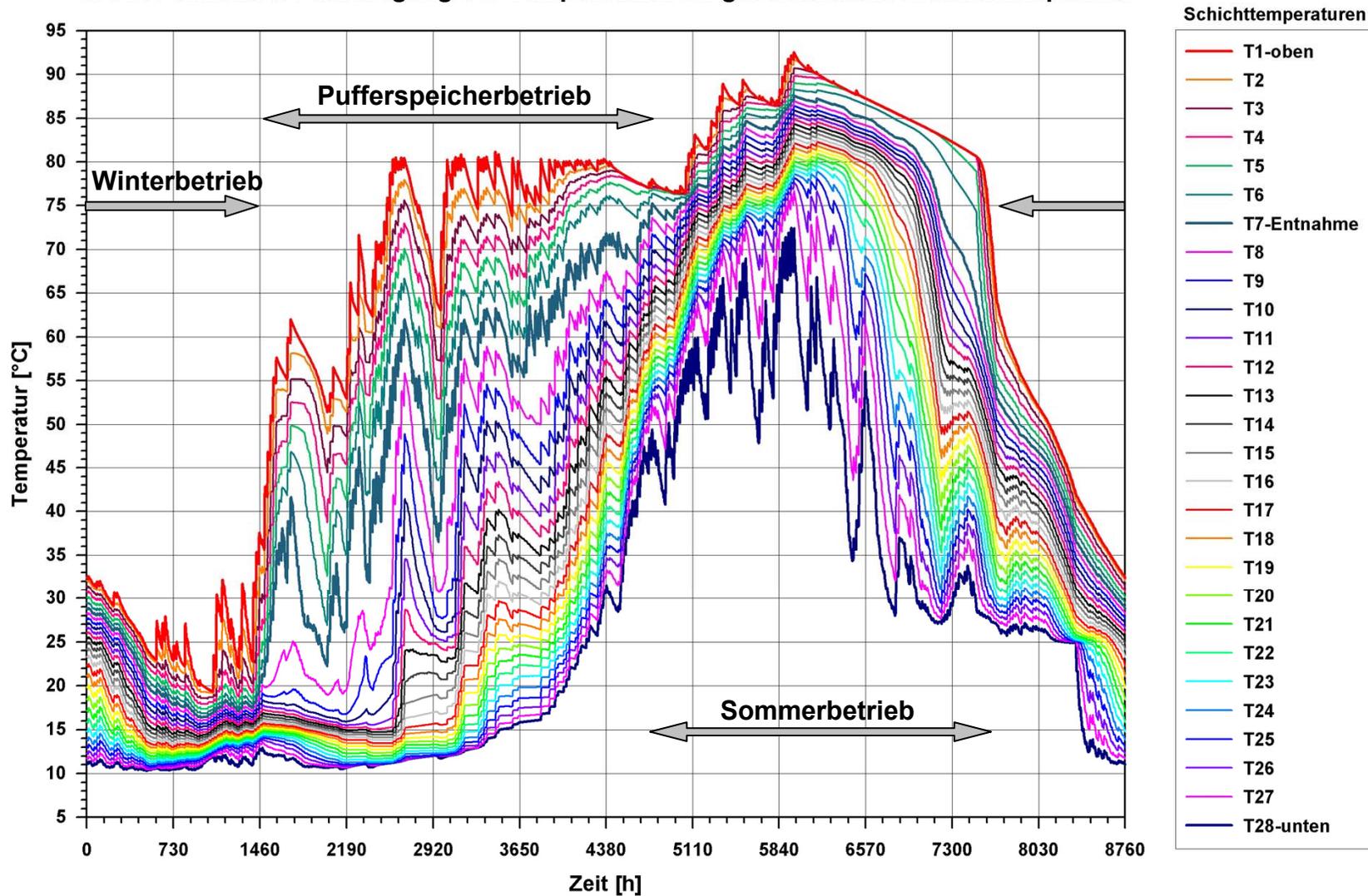
Bau von 2005 - 2007

6000 m³ geschichteter
Warmwasserspeicher
10- 95 °



320 Wohneinheiten in
4 Geschößbauten
versorgt über ein Nahwärmenetz
60 / 30 °C

SNAB: Simulierter Jahrgang der Temperaturen im geschichteten Erdbeckenspeicher



Inbetriebnahme 2007



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



ZAE BAYERN



Energetische Sanierung

Energetische Sanierung des Technischen Ämtergebäudes (TÄG) Bayreuth

Gebäudedaten:

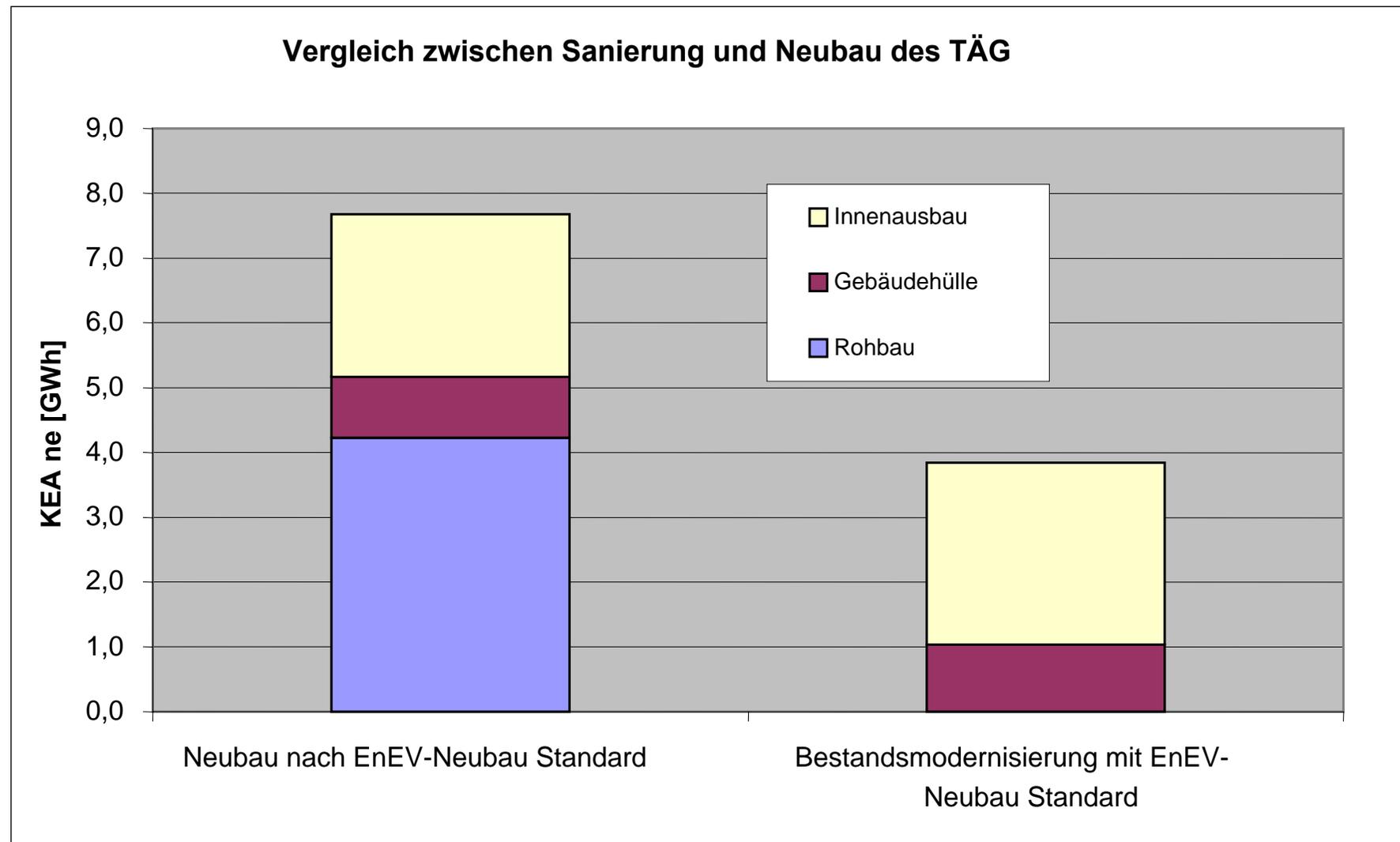
Bruttorauminhalt = 52.213 m^3 , $V_e = 47.550 \text{ m}^3$, $A/V = 0,35/\text{m}$

Bruttofläche $A_N = 15.214 \text{ m}^2$, Beheizte Fläche $GF_{th} = 13.473 \text{ m}^2$,

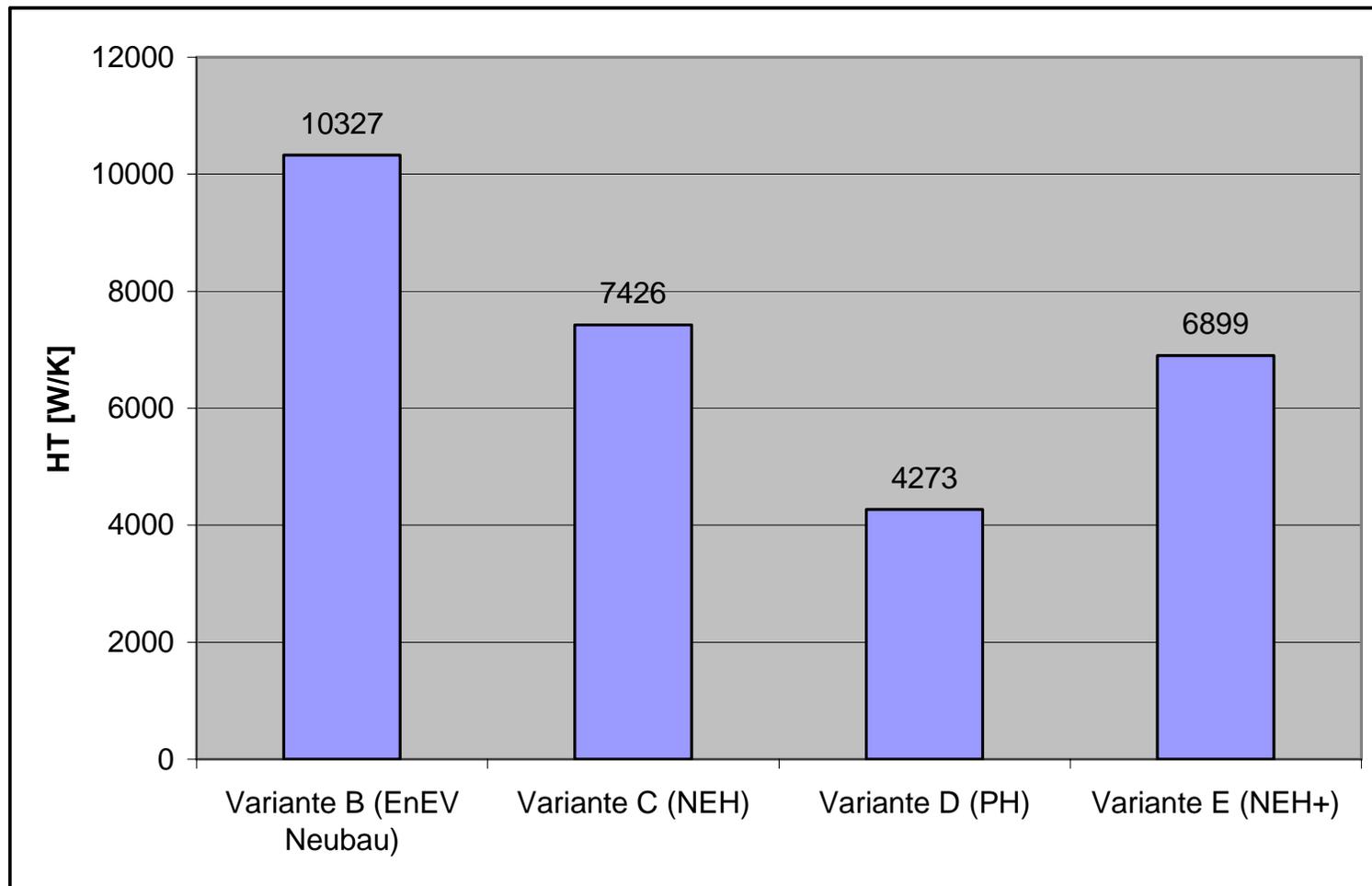
HauptnutzflächeHNF = 6.626 m^2 ,



Energetische Bewertung Sanierung ↔ Abriss



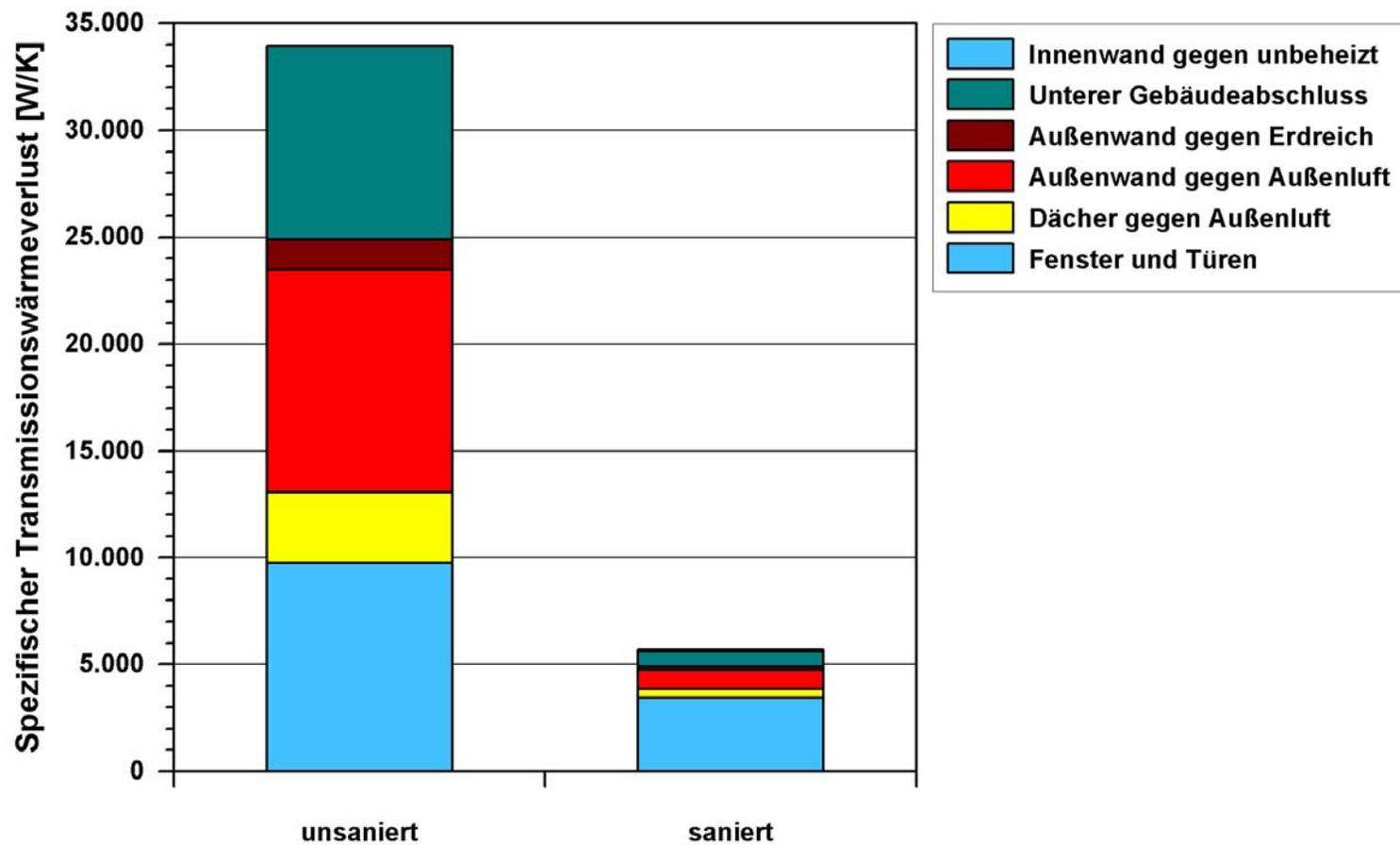
TÄ Bayreuth: Spezifischer Transmissionswärmeverlust der Gebäudehülle



TÄG Bayreuth: Spezifischer Transmissionswärmeverlust der Gebäudehülle



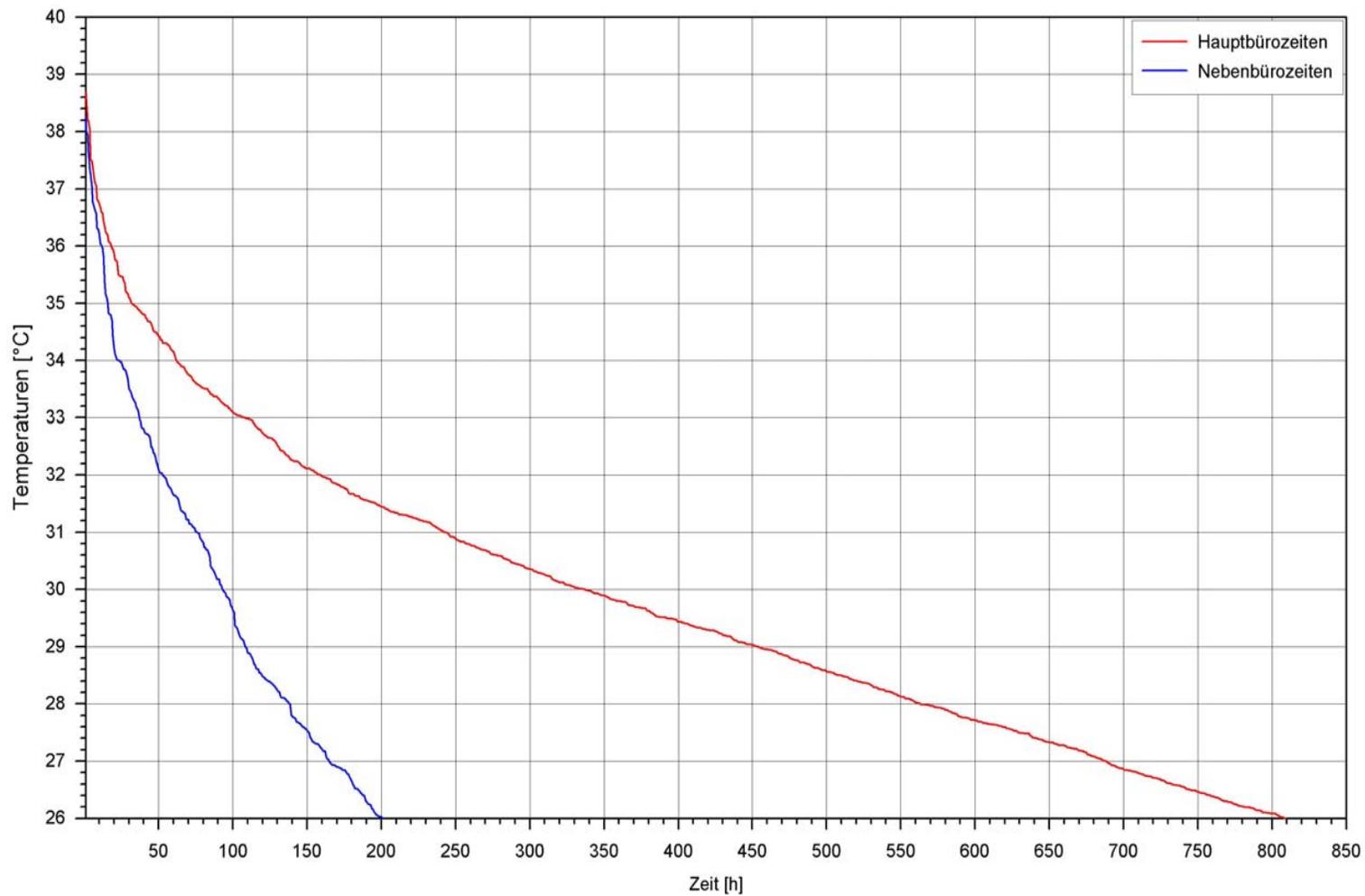
Vergleich Transmissionswärmeverlust vor und nach der Sanierung



TÄG Bayreuth: Sommerliche Überhitzung

Raumlufttemperatur Büro Westseite:

42 % Glasanteil, autom. Verschattung ab 180 W/m², Nachtlüftung an, Kühlung aus

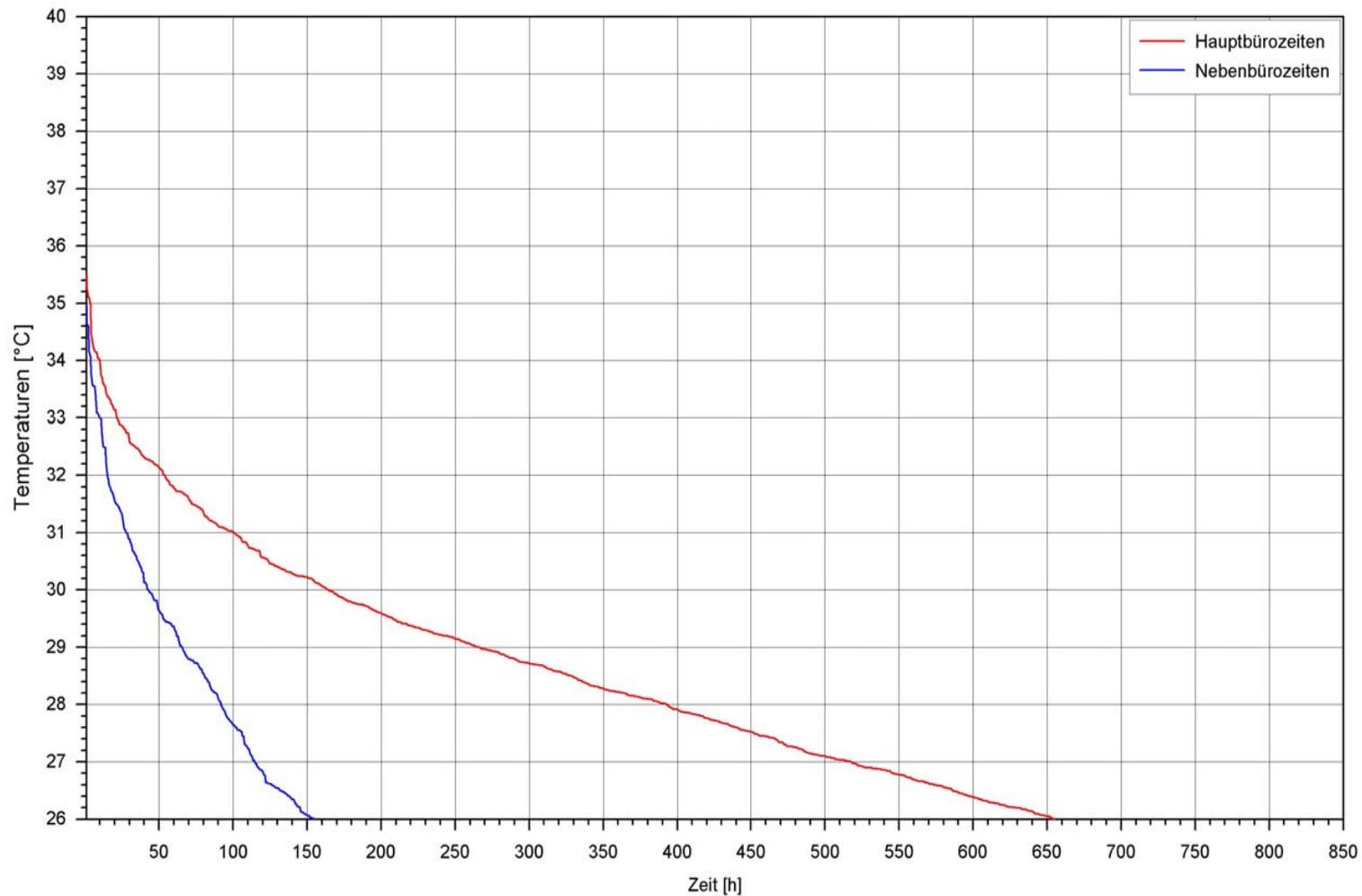


TÄG Bayreuth: Sommerliche Überhitzung



Raumlufttemperatur Büro Westseite:

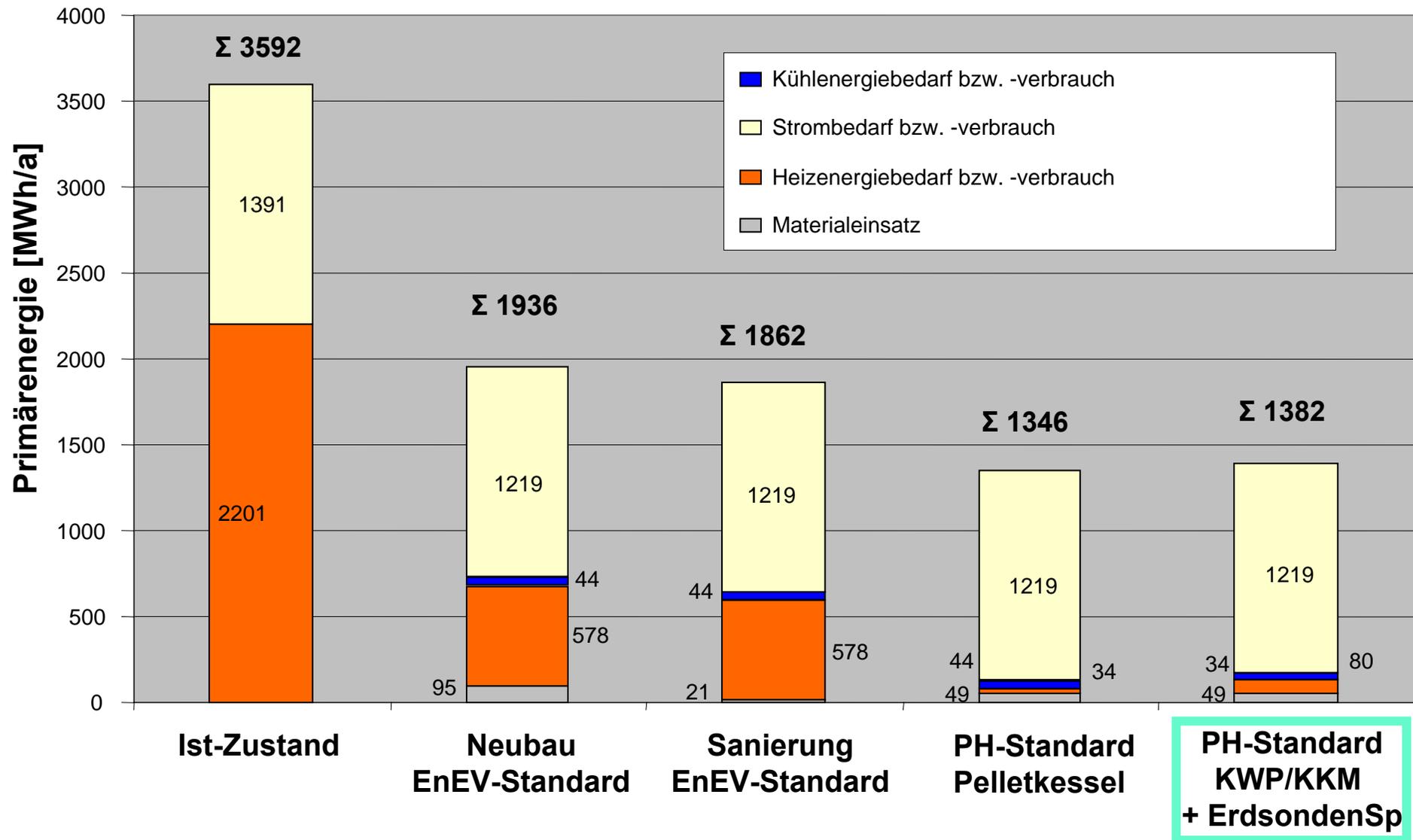
30 % Glasanteil, autom. Verschattung ab 180 W/m², Nachtlüftung an, Kühlung aus



TÄG - Energiekonzepte



ZAE BAYERN

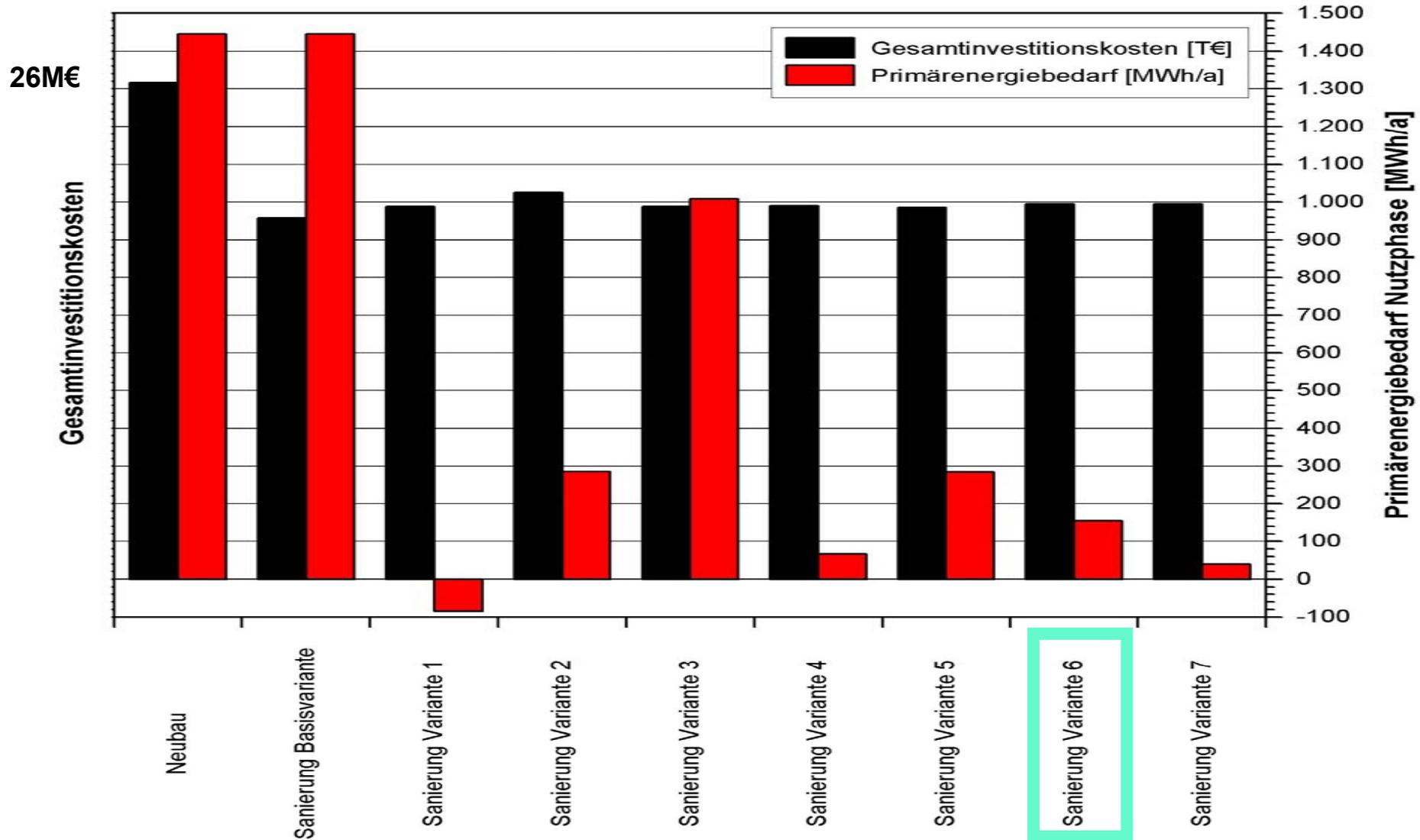


Investitionskosten und Primärenergiebedarf



ZAE BAYERN

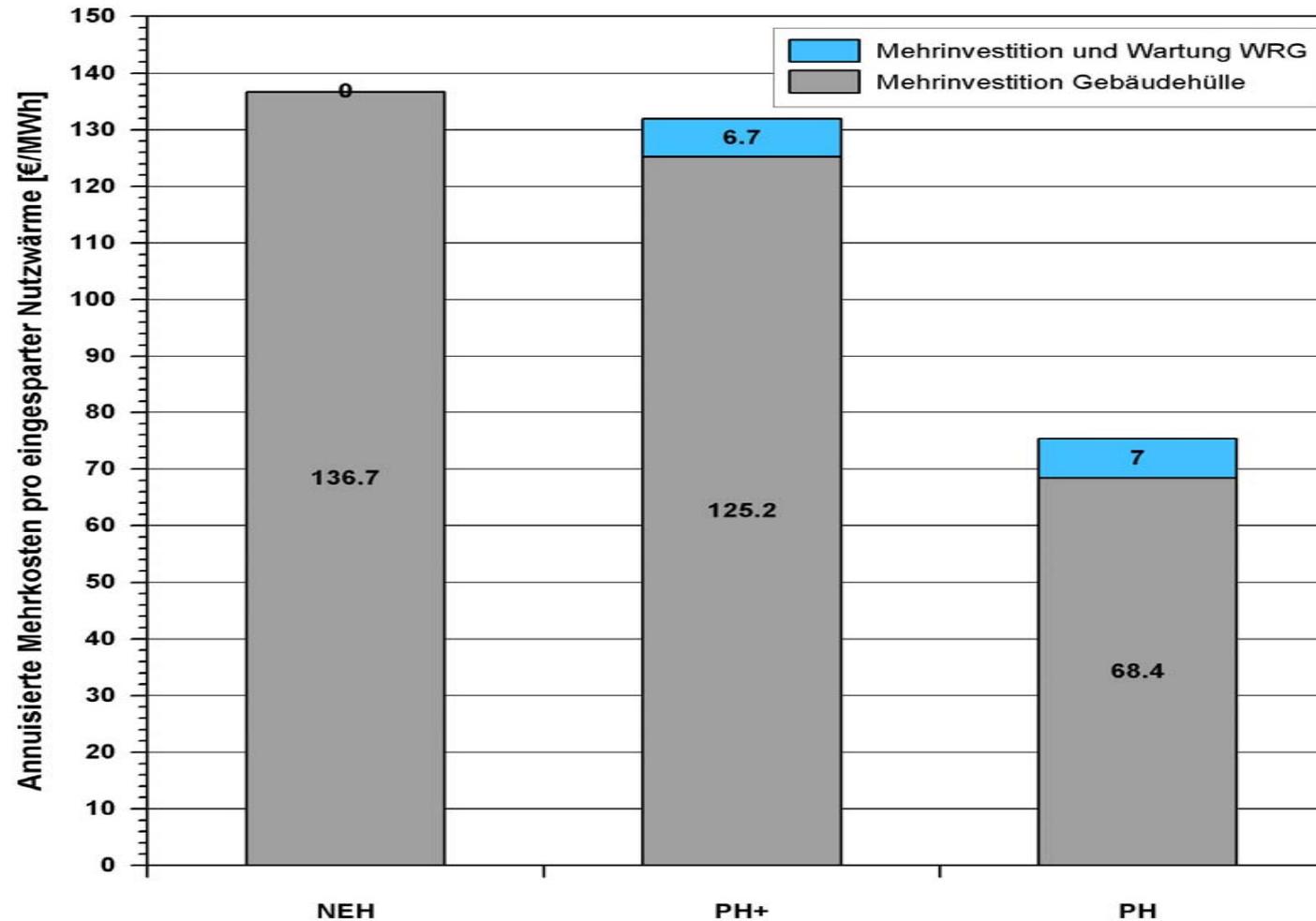
Investitionskosten und Primärenergiebedarf von Sanierungskonzepten



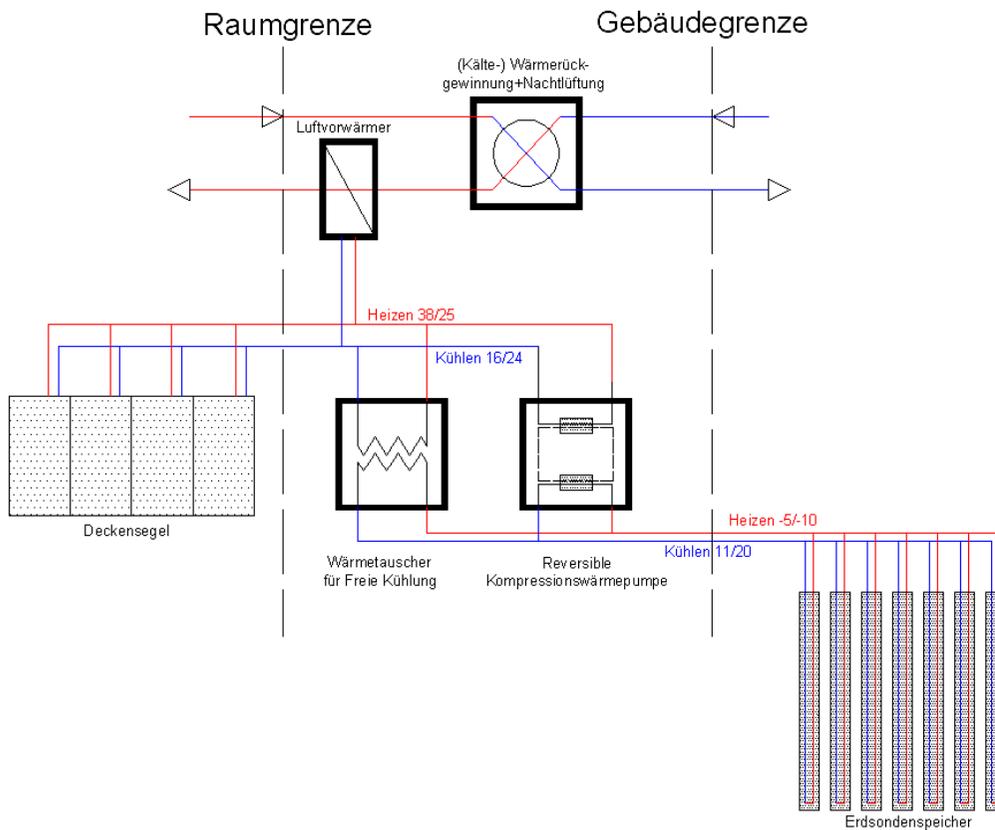
TÄG Bayreuth: Annuisierte Mehrkosten/Energie



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



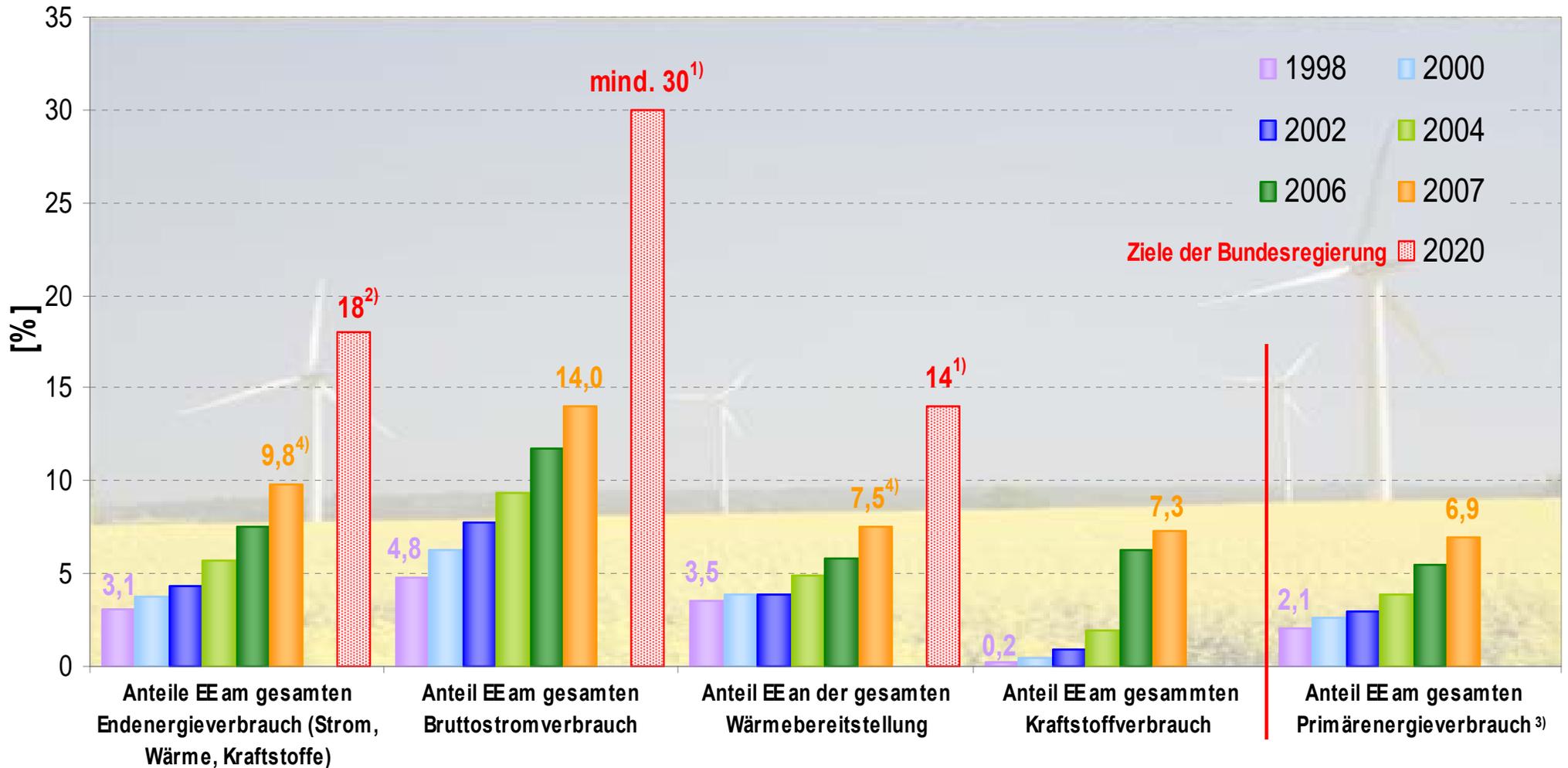
Ämtergebäude Bayreuth



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



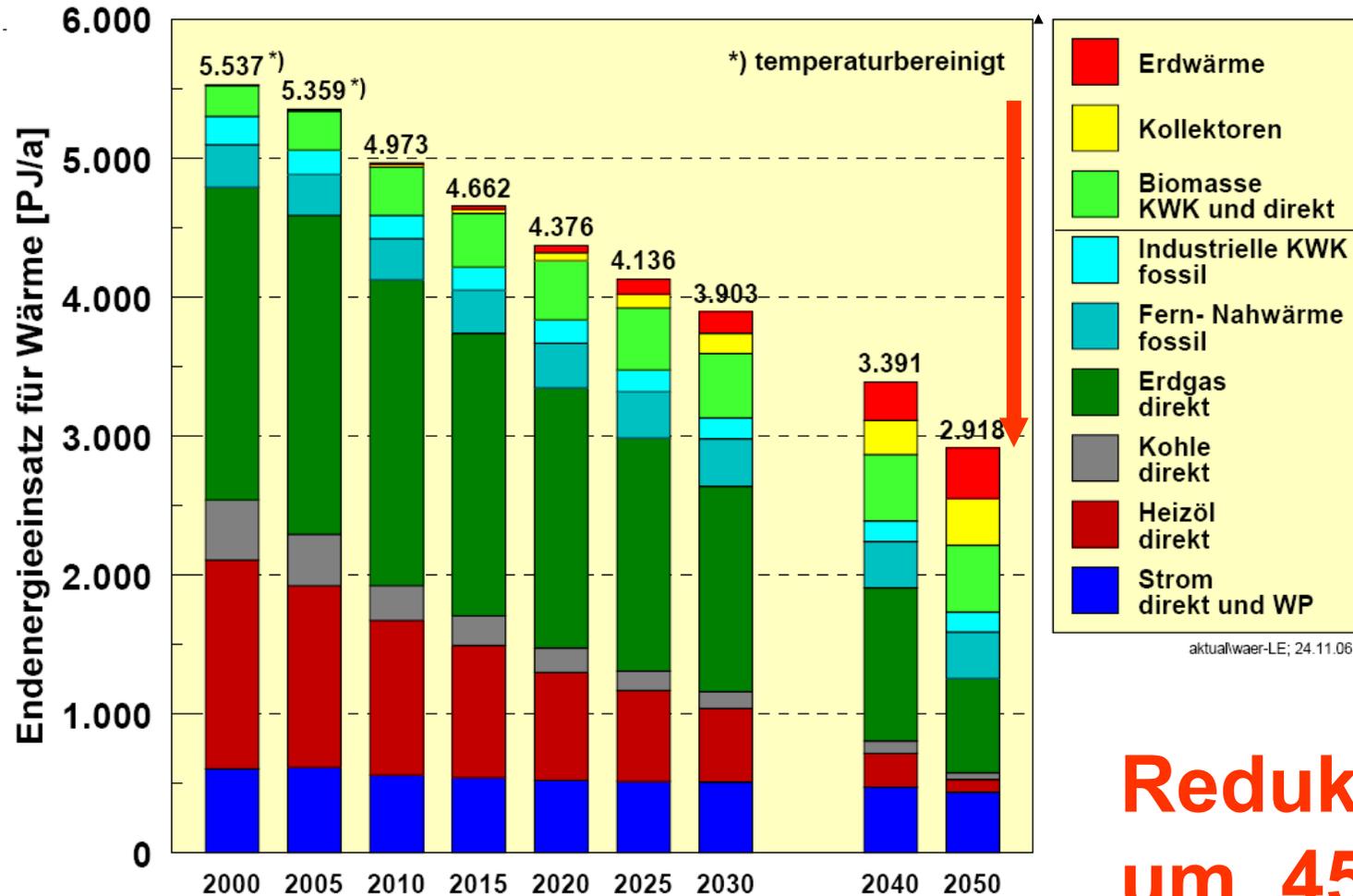
¹⁾ Quellen: Erneuerbare-Energien-Gesetz, (EEG 2009) vom 25.10.2008 und Erneuerbare Energien Wärmegesetz (EEWärmeG) vom 7.8.2008; ²⁾ Quelle: Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen, am 17.12.2008 vom Europäischen Parlament angenommen; ³⁾ Anteil Primärenergieverbrauch berechnet nach (der offiziellen) Wirkungsgradmethode; nach Substitutionsmethode: 9,4 %; ⁴⁾ 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 Vorjahres. 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

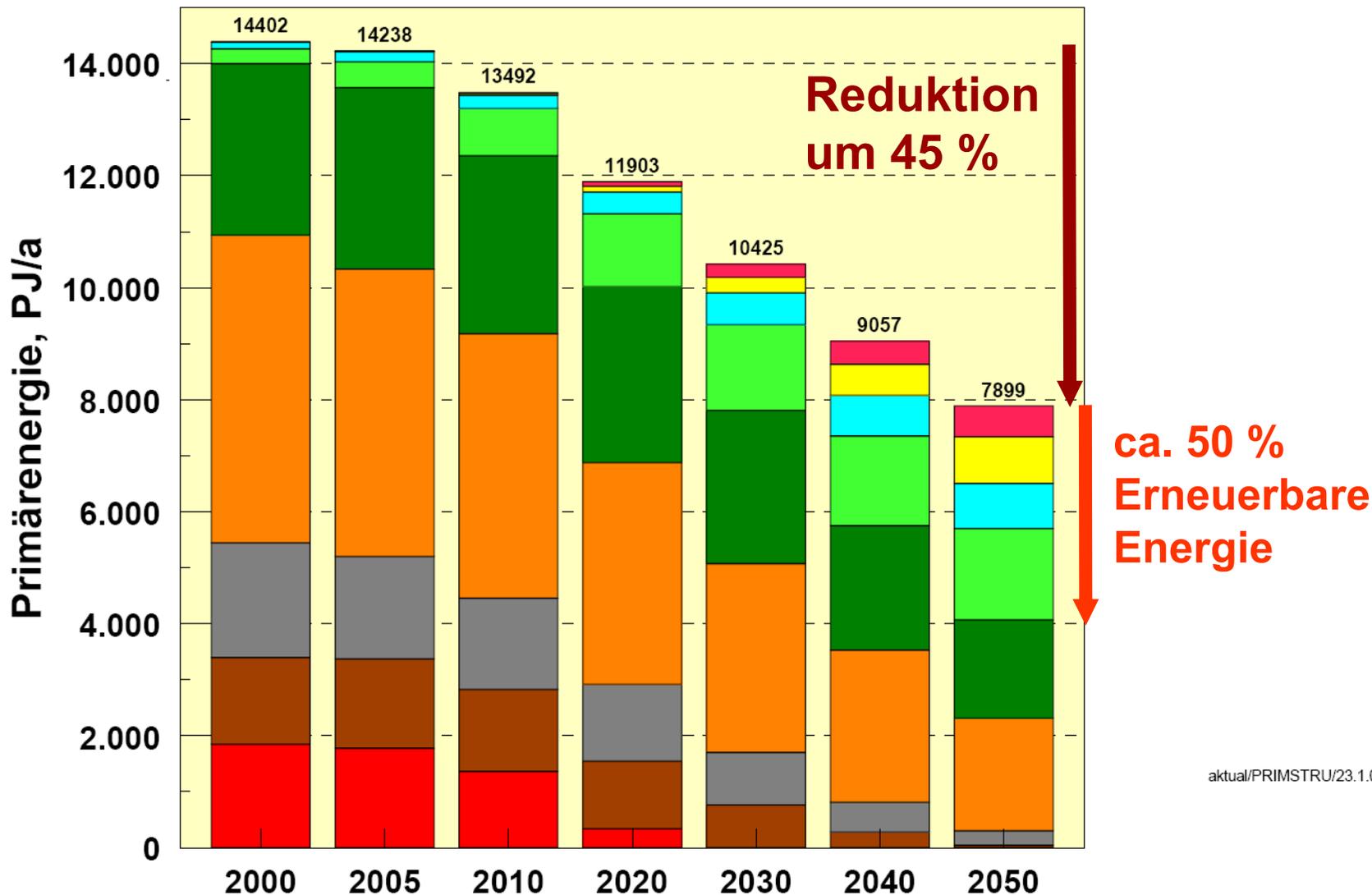


**Reduktion
um 45 %**

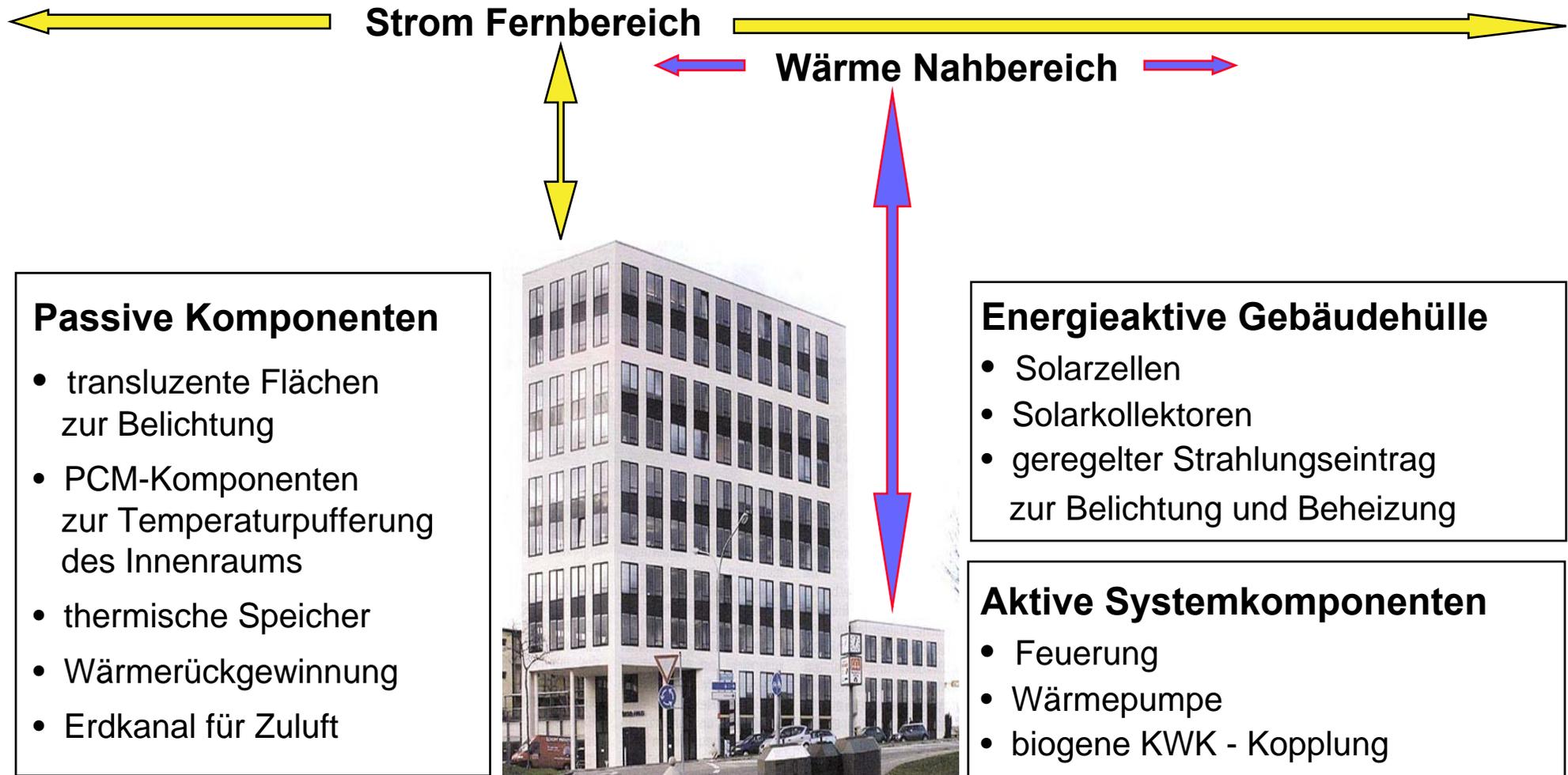
Vision: Primärenergieversorgung BRD 2050



ZAE BAYERN



Leitungsgebundene Energien:



Leitungsgebundene Energien:

