
EnBau - Bauphysik, thermischer Komfort und Energieeffizienz unter exergetischen Gesichtspunkten



Doreen Kalz | Jens Pfafferott | Sebastian Herkel

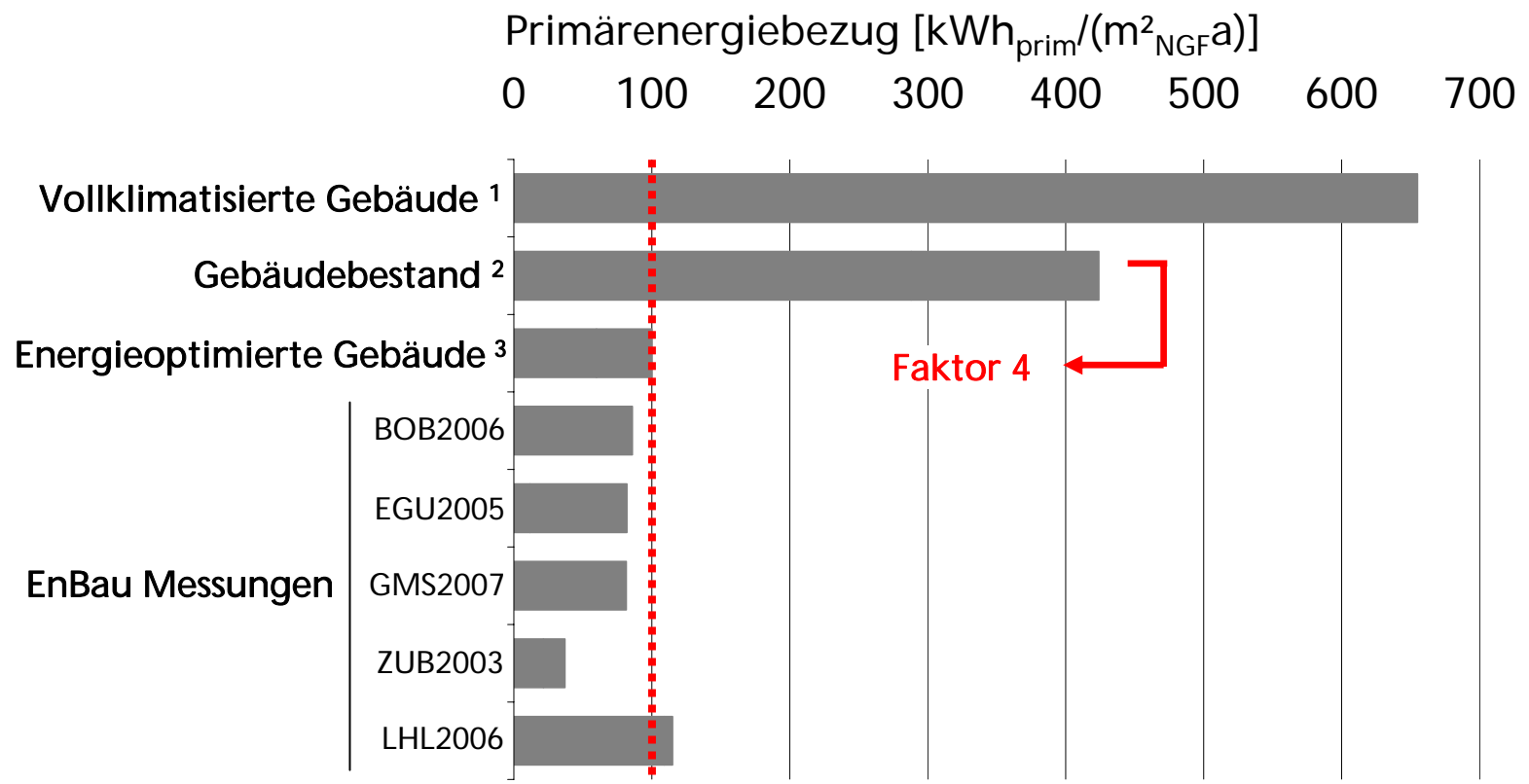
Fraunhofer-Institut für
Solare Energiesysteme ISE

LowEx Symposium

Kassel, 28./29. Oktober 2009

Einleitung

Gebäude in Deutschland und der Schweiz



Primary Energy Factors [$\text{MWh}_{\text{end}}/\text{MWh}_{\text{prim}}$]
electricity 3.0 | fossil fuels 1.1. | biomass 0.2

ref. C. Hoffmann 2005
1 Enerkenn 2002 | 2 Weber 1999 | 3 EnBau

Umweltwärmequellen und -senken

Geothermie und Außenluft

Geothermie

Erdreich



Sonden, Pfähle, Erdkollektoren

Grundwasser



Förder- und Schluckbrunnen

Oberflächenwasser



Regenwasser in Zisternen

Außenluft

nat. / mech. Lüftung



natürliche + hybride Lüftung

Kühlturm



trockener + nasser Kühlturm

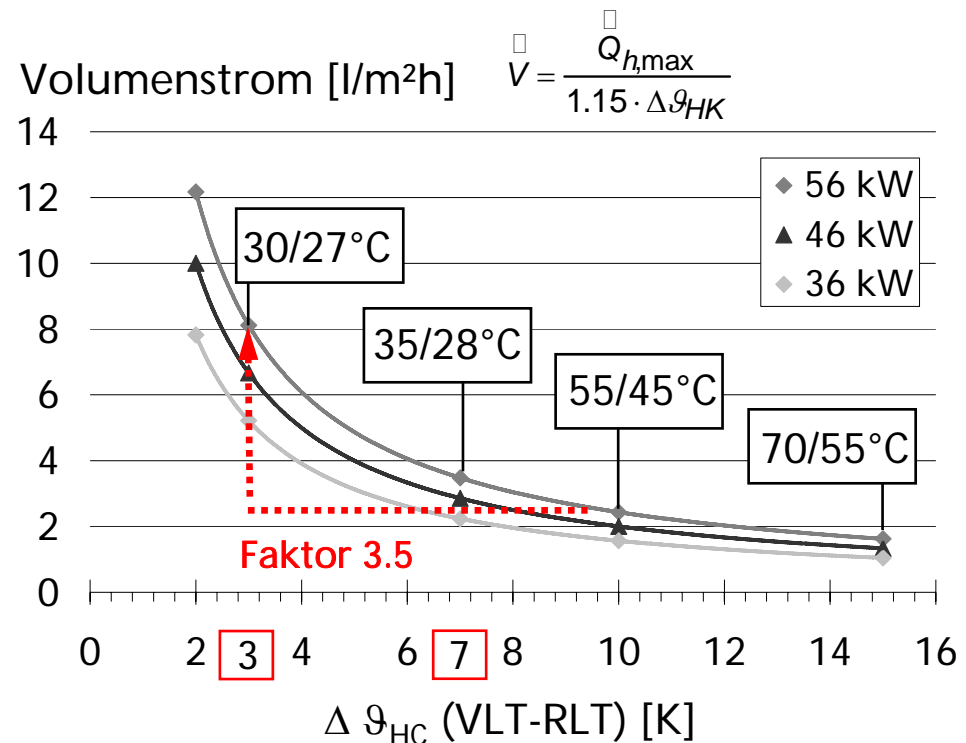
Temperaturen Wärmesenke: 12 – 20 °C

Temperaturen Wärmequelle: 4 – 14°C

Umweltenergie und TABS

Heizen und Kühlen mit Niedertemperatursystemen

- Niedertemperatursysteme erfordern einen erhöhten Volumenstrom und damit einen höheren Hilfsenergieeinsatz für das hydraulische System



Querauswertung

Energieoptimierte Gebäude



	NEU						SAN	NEU					
	BÜRO							SCHULE	PROD.	WOH	BÜRO		
NGF	1.300	4.000	6.900	8.900	2.000	4.800	100	950	10.000	4.300	285	63	300

SENKE **ERDREICH** **GRUNDWASSER** **LUFT**

QUELLE **ERDREICH** **GRUNDWASSER**

TABS **KÄLTEÜBERGABESYSTEM** **NL**

WÄRMEÜBERGABESYSTEM **HEIZKÖRPE**

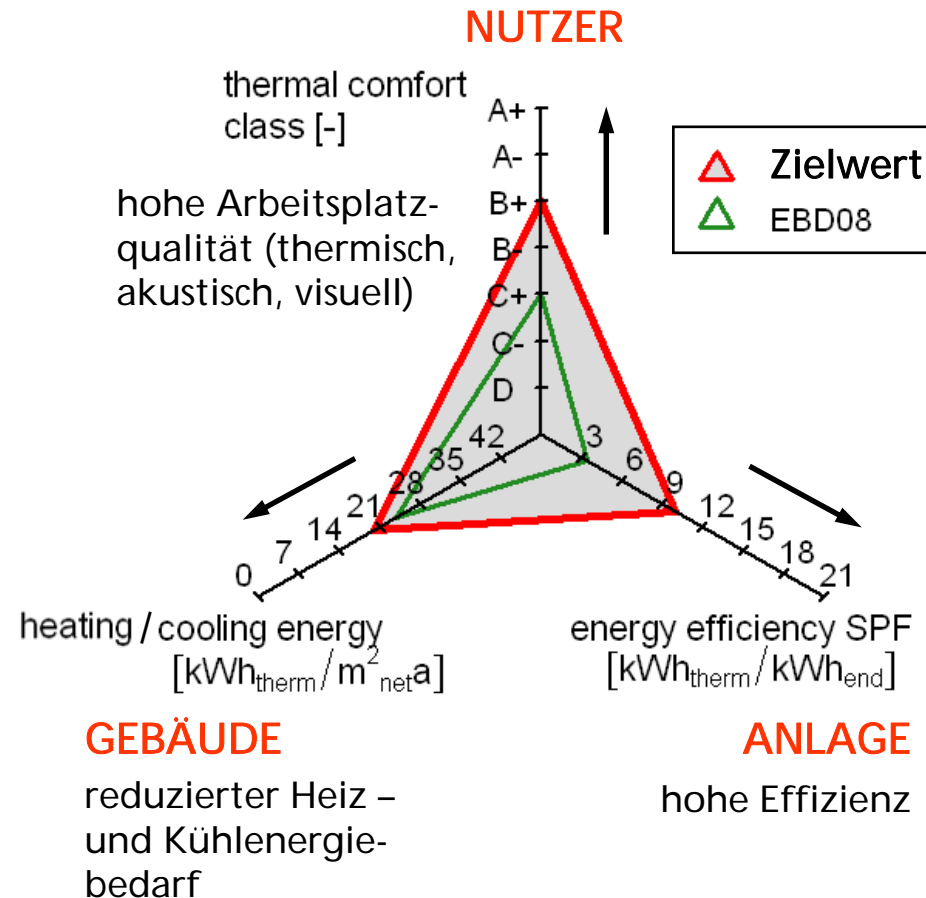
ÖFFENBARE FENSTER

ZU-/ABLUFTANLAGE

Ganzheitliche Bewertung der Energiekonzepte

Energiebezug – Energieeffizienz – Thermischer Komfort

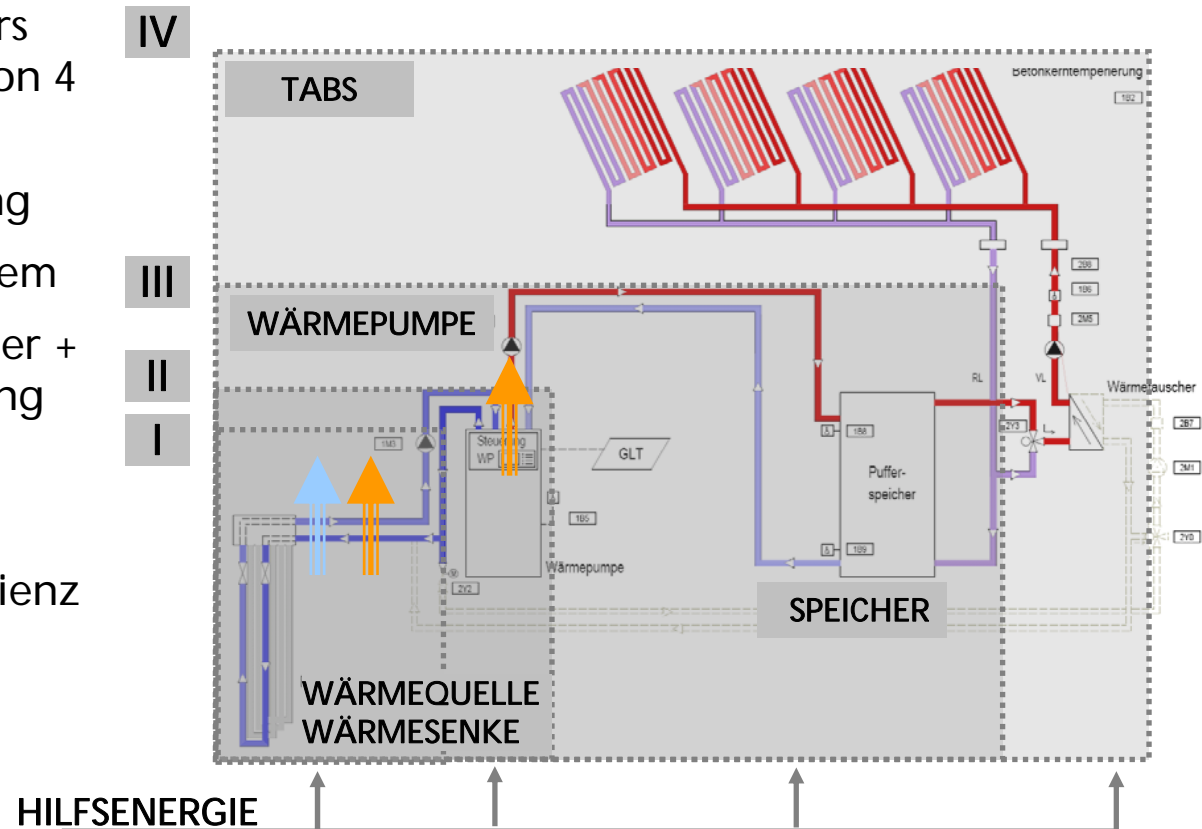
- Bewertung der Konzepte im Heiz- und Kühlfall
- primärenergetische Analyse
- keine Gewichtung der Parameter
- Festlegung von Zielwerten für Energiebezug, Effizienz und Komfort
- Bewertung und Vergleich von unterschiedlichen Konzepten
- Identifikation von Schwachstellen und Erfolgsfaktoren



Bewertungsmethode

Bilanzgrenze I bis IV

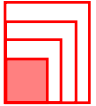
- Primärenergieanalyse fürs Gesamtsystem anhand von 4 Bilanzgrenzen
 - I: Energiebereitstellung
 - II: Wärmepumpensystem
 - III: thermischer Speicher + Hauptenergieverteilung
 - IV: Wärme-/ Kälteübergabe
- Analyse der Energieeffizienz



$$JAZ(I - IV) = \frac{Q_{H,C,HP}}{E_{aux}}$$

Bewertung der Energieeffizienz

Wärmesenke im Kühlfall



KÜHLUNG

Grundwasser

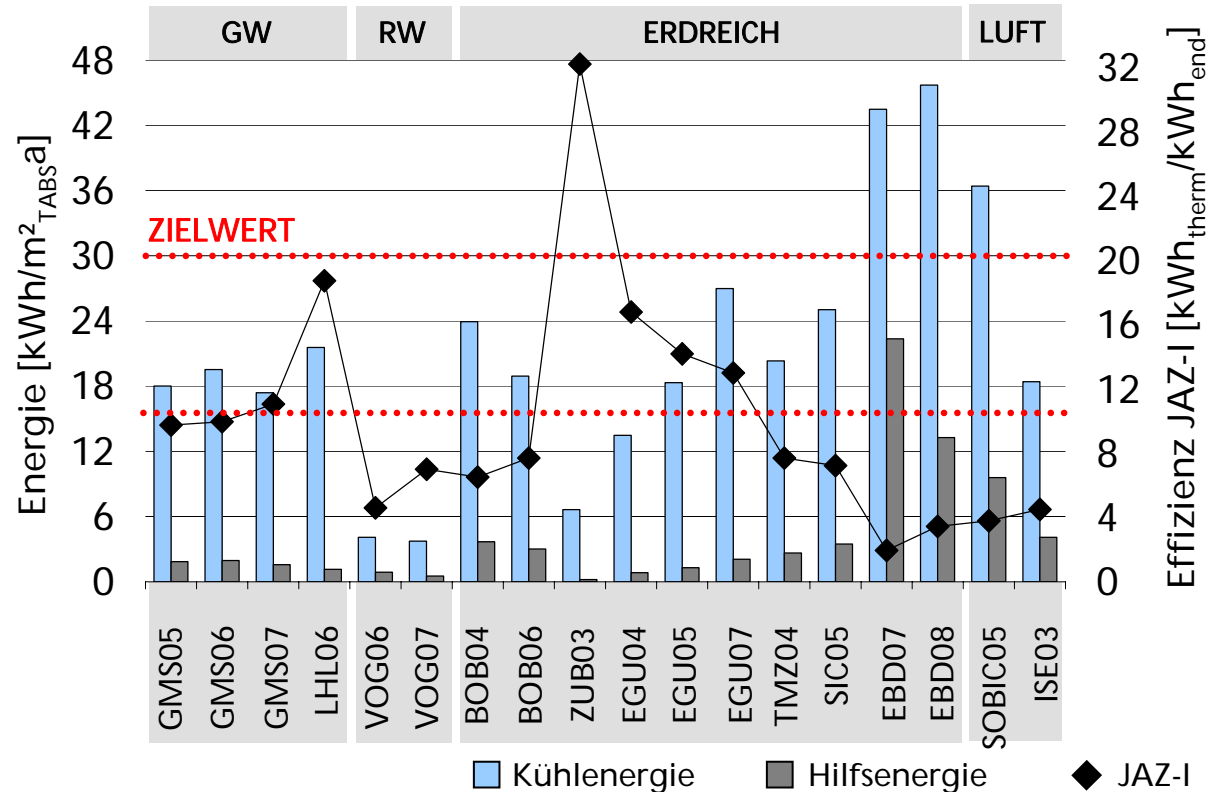
40 – 200 MWh_{therm}/a

15 – 20 kWh_{therm}/m²_{TABS}a

Erdreich

10 – 100 MWh_{therm}/a

15 – 45 kWh_{therm}/m²_{TABS}a

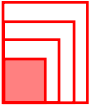


Schwerpunkt: Auslegung und Installation der Systeme

Grundwasser (GW), Regenwasser (RW), Jahresarbeitszahl JAZ

Bewertung der Energieeffizienz

Wärmequelle im Heizfall



HEIZEN

Grundwasser

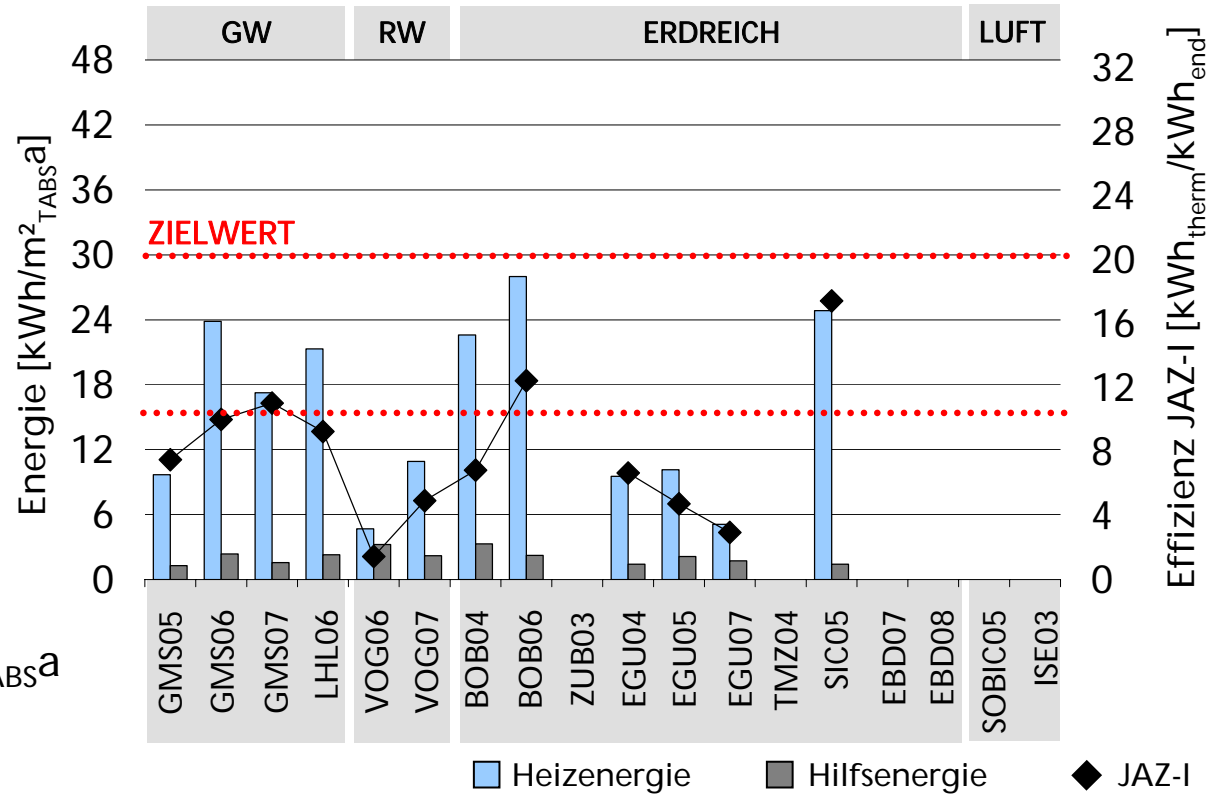
70 – 240 MWh_{therm}/a

10 – 25 kWh_{therm}/m²_{TABS}a

Erdreich

30 – 90 MWh_{therm}/a

5 – 25 kWh_{therm}/m²_{TABS}a



Grundwasser (GW), Regenwasser (RW), Jahresarbeitszahl JAZ

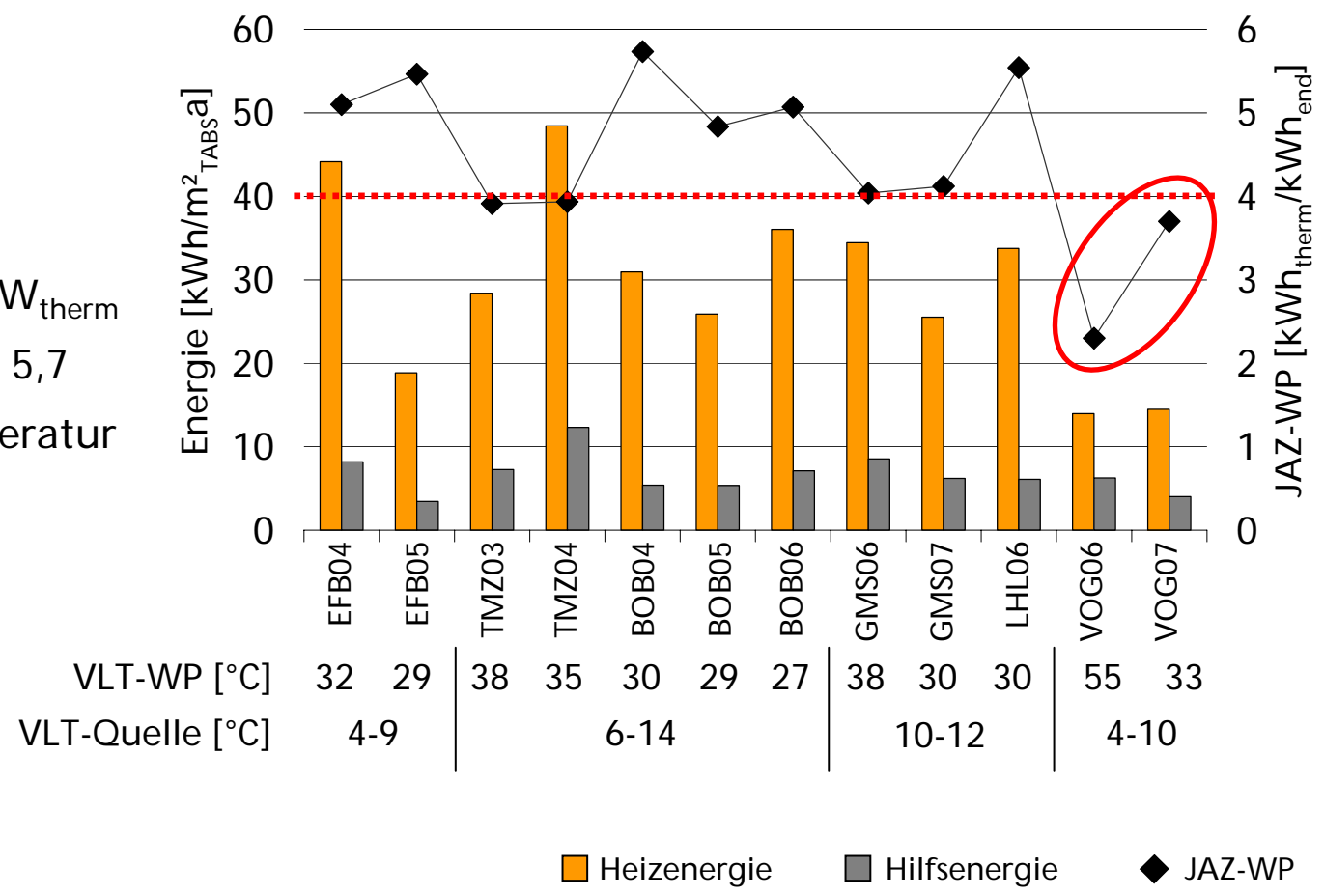
Umweltwärmequelle und Wärmepumpensystem

Energieeffizienz Wärmepumpe



HEIZEN

- WP 7 – 240 kW_{therm}
- JAZ-WP 4,0 – 5,7
- Vorlauftemperatur 27 – 35 °C
- Gütegrade 0,25 – 0,38



Vorlauftemperatur (VLT), Wärmepumpe (WP)

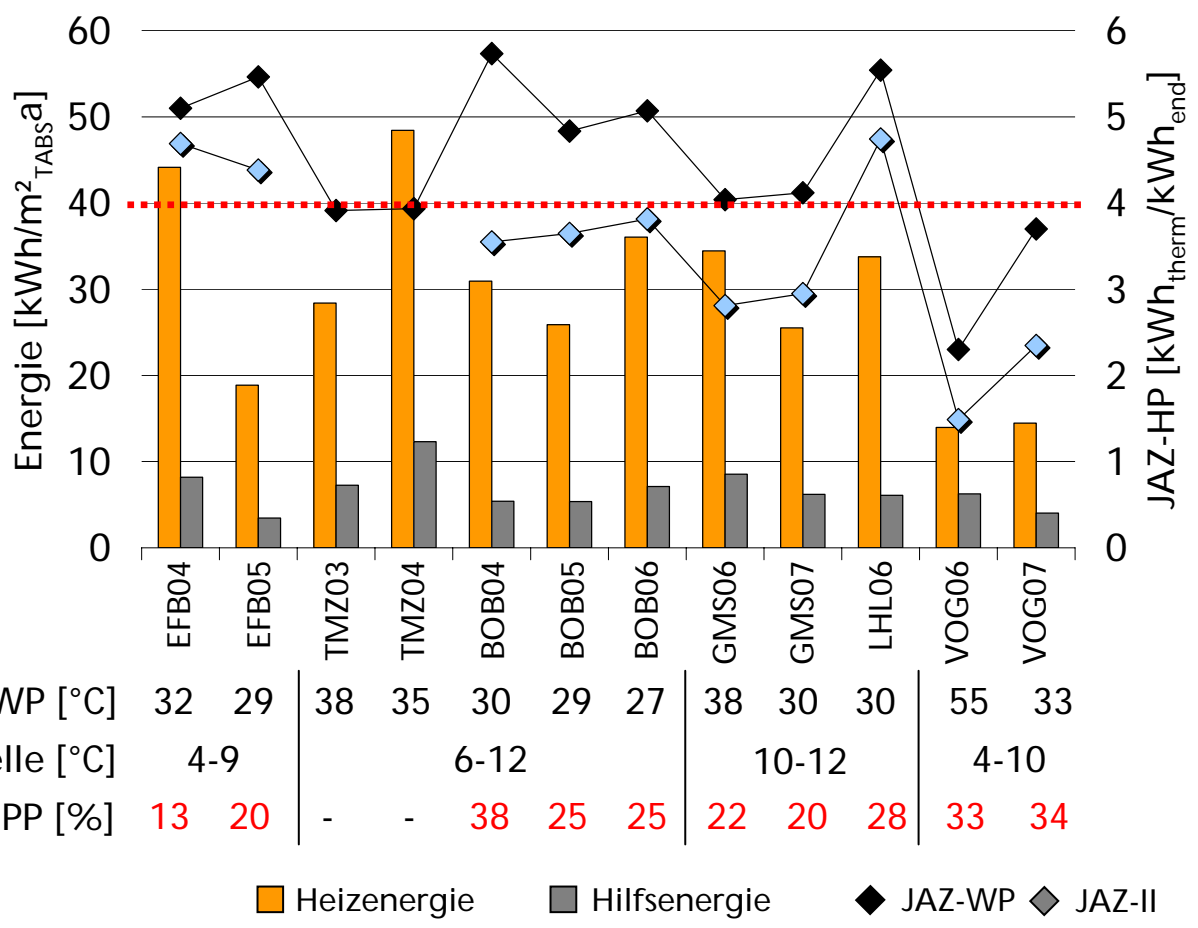
Umweltwärmequelle und Wärmepumpensystem

Energieeffizienz Wärmepumpensystem



- JAZ-II 2,8 – 4,5
- Reduktion Energieeffizienz 10 – 40 % (JAZ-WP → JAZ-II)
- bedeutender Einfluss der Primärpumpe

HEIZEN



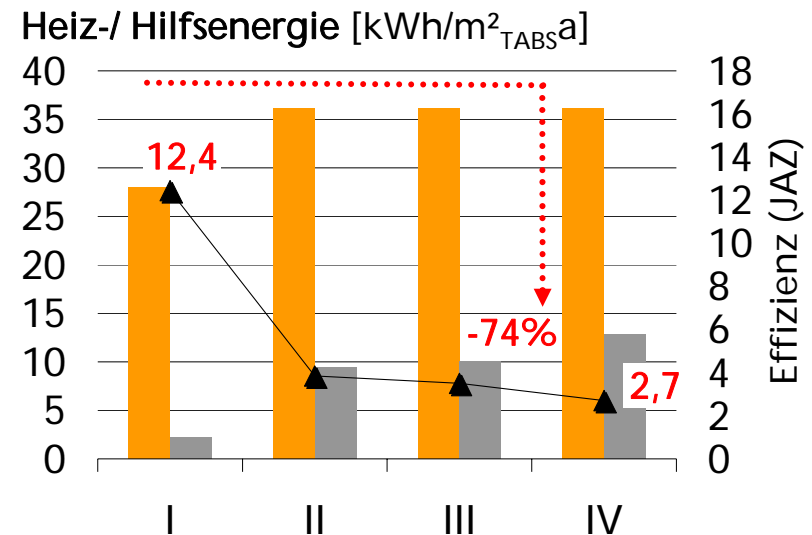
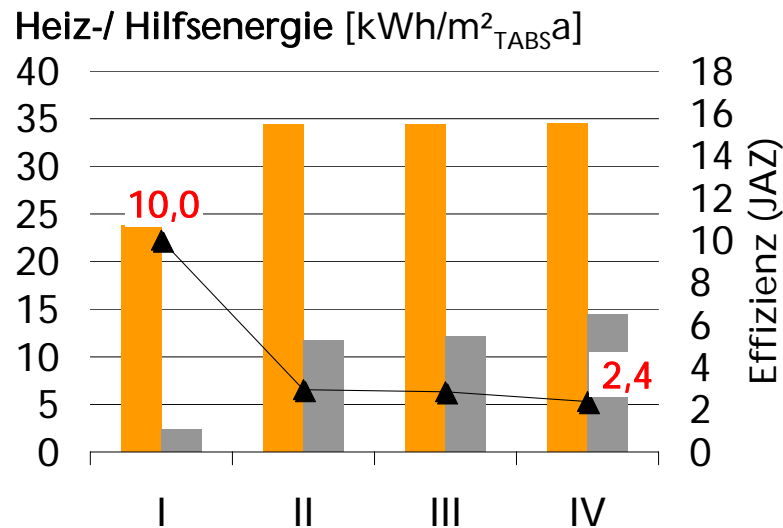
VLT: Vorlauftemperatur
 PP: Pumpe Primärkreis
 JAZ-II ohne Speicherladepumpe

Einfluß der Hilfsenergie

Systemanalyse: Heizfall



- Systemeffizienz bestimmt durch Wärmepumpensystem
- Wärmequelle JAZ-I 8 – 14 → Gesamtsystem JAZ-IV 1 – 2,7



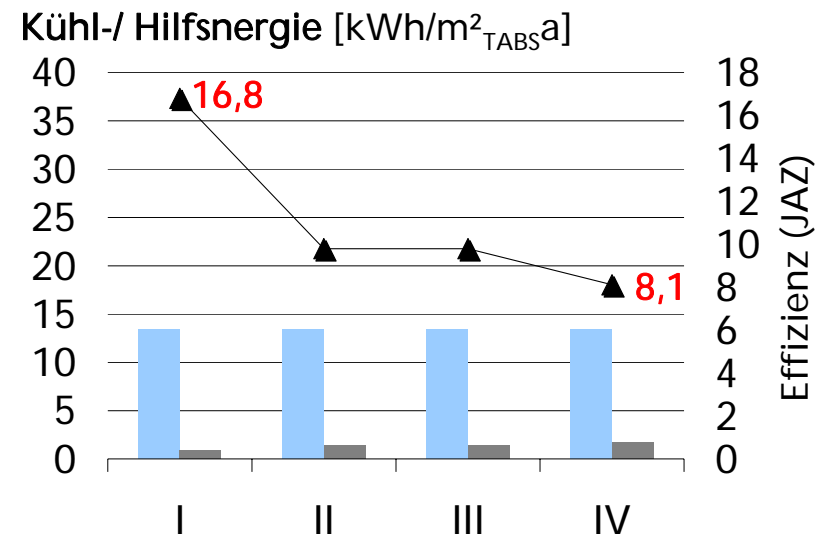
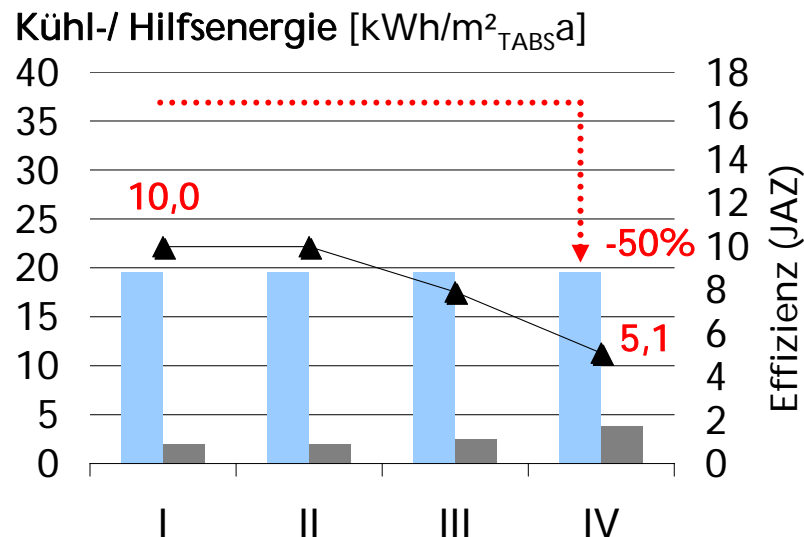
keine Berücksichtigung von
Wärmeverlusten innerhalb der
Bilanzgrenzen

Einfluß der Hilfsenergie

Systemanalyse: Kühlfall



- bedeutender Einfluß der Hilfsenergie für Verteilung und Übergabe
- Reduzierung der Energieeffizienz I → IV von rund 50 %



keine Berücksichtigung von Wärmegewinnen
innerhalb der Bilanzgrenzen

Fazit I

Systemanalyse für Bilanzgrenzen I bis IV

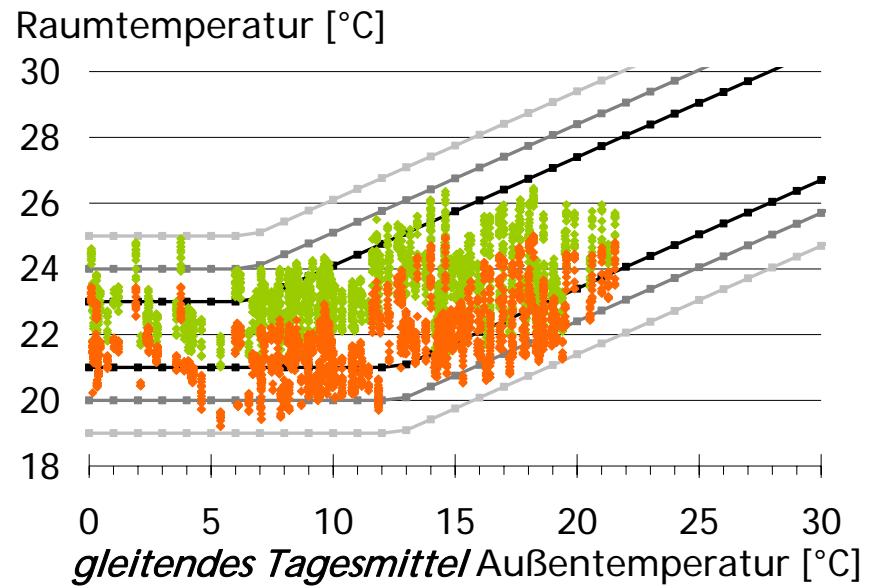
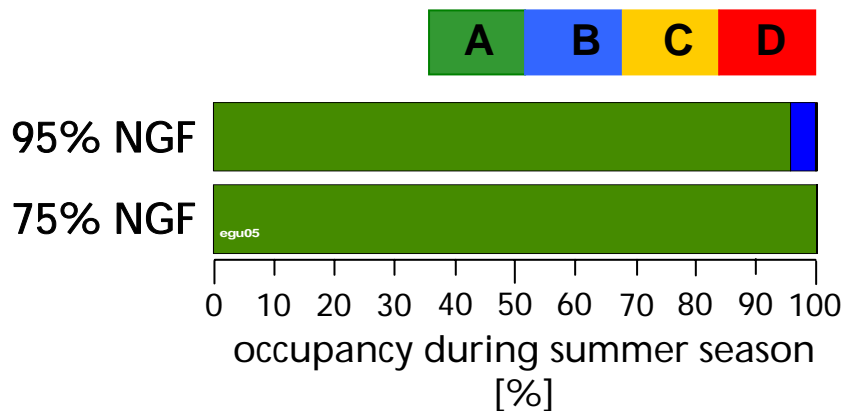


- gute Primärenergieperformance unter $100 \text{ kWh}_{\text{prim}}/(\text{m}^2_{\text{NGF}}\text{a}) \rightarrow$ Verringerung um einen Faktor 4 im Vergleich zum Gebäudebestand
- begleitende Betriebsoptimierung während des ersten Betriebsjahres notwendig
- Heiz-/ Kühlperformance und Energieeffizienz sehr sensitiv in Bezug auf inkorrekte Berechnung, Auslegung und Installation \rightarrow Qualitätssicherung hat zentrale Bedeutung
- Bewertung des Gesamtsystems wesentlich für das Erreichen hoher Energieeffizienzen
- großer Einfluß der Hilfsenergie für das hydraulische System: Anteil von 15 bis 30 % an End- und Primärenergiebezug für HKLB ($5 \text{ to } 10 \text{ kWh}_{\text{end}}/\text{m}^2_{\text{NGF}}\text{a}$)
- Optimierungsmaßnahmen versprechen beträchtliche Steigerung der Energieeffizienz

Thermischer Raumkomfort im Sommer

Adaptives Komfortmodell: EN 15251:2007-08

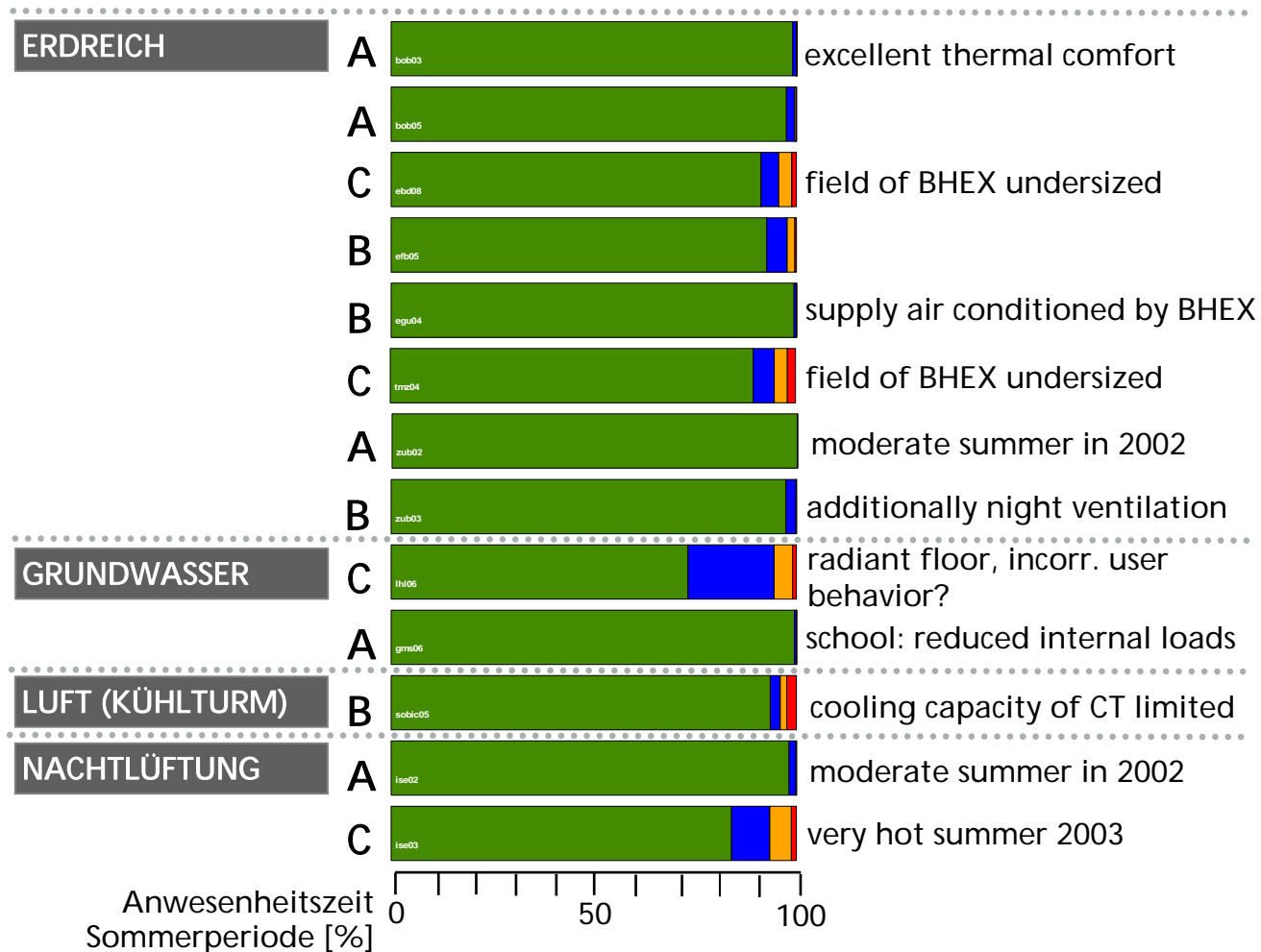
- stündliche Messungen der Raumtemperatur während der Anwesenheitszeit
- Überschreitungshäufigkeit der Komfortklasse (A,B, C) während der Anwesenheitszeit in der Sommerperiode
- Berücksichtigung von 75% bzw. 95% der Gebäudefläche



Thermischer Raumkomfort im Sommer

Vergleichende Bewertung

- adaptives Komfortmodell nach DIN EN 15251
- Kälteübergabe mittels TABS
- keine Abhängigkeit der erreichten Komfortklasse von der Senke
- Voraussetzung: korrekte Dimensionierung
- Komfortklasse: A und B, wenige Gebäude C



summer season w/ running mean
ambient air temperature greater 15°C

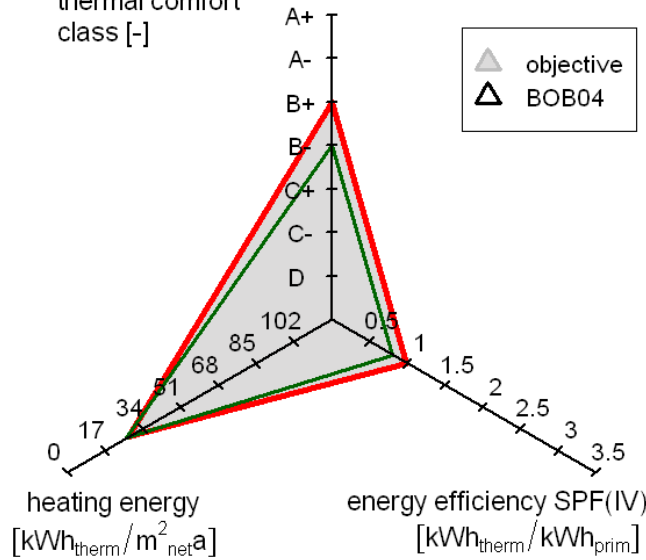


BOB, 2004

guter thermischer Komfort
 hoher Hilfsenergieeinsatz für
 Verteilung und Übergabe
 $[2.8 \text{ W}_{\text{el}}/\text{m}^2_{\text{TABS}} |$
 $7.6 \text{ kWh}_{\text{end}}/(\text{m}^2_{\text{TABS}}\text{a})]$
 geringe Energieeffizienz
 Zielwert für Kühlenergie-
 bezug nicht erreicht: kein
 Sonnenschutz

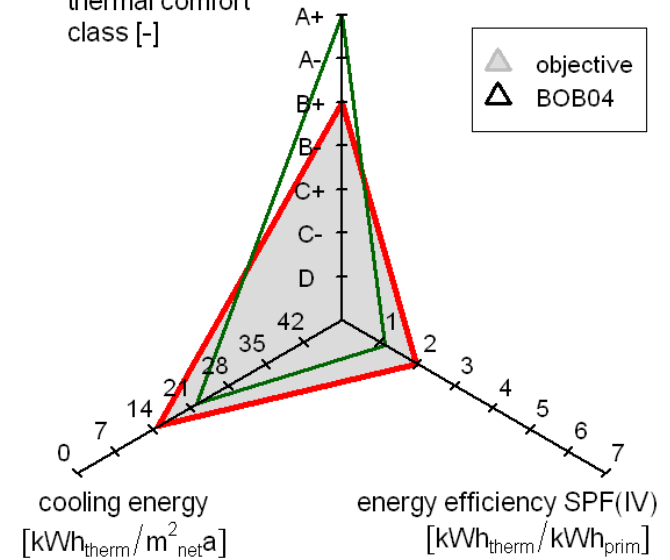
HEIZEN

thermal comfort
 class [-]



KÜHLEN

thermal comfort
 class [-]

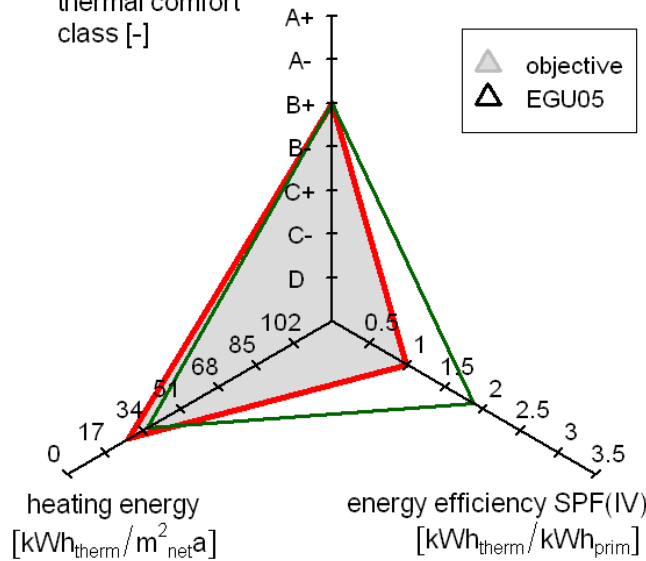


EGU, 2005

sehr guter Raumkomfort
 Passivhausstandard
 reduzierter Hilfsenergie-
 einsatz (eine Verteilpumpe)
 $[1.7 \text{ W}_{\text{el}}/\text{m}^2_{\text{TABS}} |$
 $3.7 \text{ kWh}_{\text{end}}/(\text{m}^2_{\text{TABS}}\text{a})]$
 sehr gute Effizienz im
 Kühlfall
 Energiegutschrift für PV

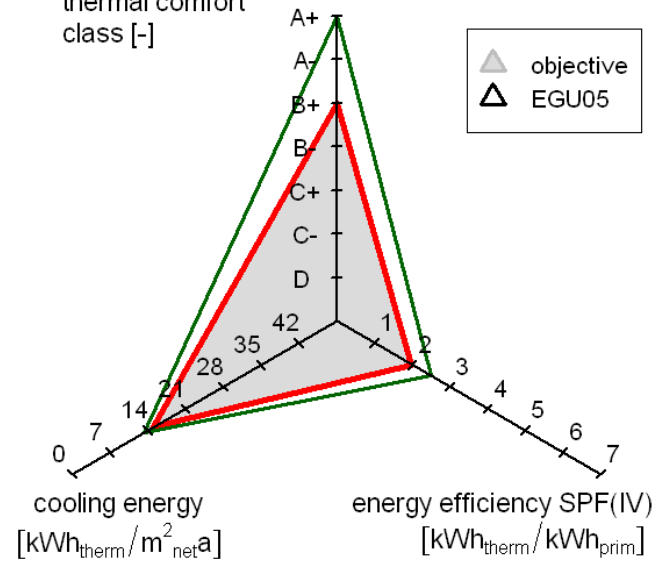
HEIZEN

thermal comfort
 class [-]



KÜHLEN

thermal comfort
 class [-]



Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Gesamtsystemansatz

- überzeugende Beispiele für Heiz- und Kühlkonzepte mit Umweltenergie
→ Anwendung und Machbarkeit für unterschiedliche Gebäude
- Effizienz von Komponenten und Subsystemen besser als bei konventionellen Systemen, dennoch hohes Potential für weitere Energieeinsparung und Effizienzsteigerung
- wenige Gebäude erreichen alle 3 Qualitätskriterien – Energiebezug, Effizienz und thermischer Komfort
- Komponentenauswahl, Betrieb und Hydraulik haben großen Einfluß auf die Energieeffizienz des Gesamtsystems
- Gesamtsystemansatz: Systemabstimmung und effiziente Betriebsführung aller Teilkomponenten → Ausschöpfen der energetischen und exergetischen Leistungsfähigkeit der Systeme
- erste thermo-hydraulische Optimierungen versprechen eine Verdopplung der Energieeffizienz des Gesamtsystems $JAZ-IV \ 6 \text{ kWh}_{\text{therm}}/\text{kWh}_{\text{end}}$

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

