

***Benutzerfreundliche Heizungssysteme für
Passiv- und Niedrigenergiehäuser***
Einleitung, Projektstruktur, Projektbeteiligte



Projektleitung:
Ao. Univ.-Prof. Wolfgang Streicher
Institut für Wärmetechnik
Technische Universität Graz



Ausgangslage

- **Niedrigenergie- und Passivhaus entwickelt sich zum „Standard“ (zunehmend auch bei Mehrfamilienhäusern)**
- **Bisher ist für Passiv-Einfamilienhäuser ein Heizungssystem durchentwickelt**
 - Luftheizung mit Abluftwärmerückgewinnung,
 - Abluftwärmepumpe für Zuluft und Brauchwarmwasser,
 - Erdreichwärmeübertrager (optional) und
 - Brauchwarmwasser-Solaranlage (empfohlen)



Rahmenbedingungen

Passivhauskriterien

Restheizenergiebedarf	15 kWh/m ² a (<i>nach AWR</i>)
Endenergiebedarf gesamt	42 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf gesamt	120 kWh/m ² a

(bei 20°C Raumtemperatur, bezogen auf Nettofläche)

Neue Definition 2003

Primärenergiebedarf ohne Haushaltsstrom *40 kWh/m²a*

Niedrigenergiehaus

Keine genaue Definition Werte zwischen 45 – 65 kWh/m²a
Heizenergiebedarf je nach Bundesland verwendet.

Aufgabenstellung

Analyse der Vor- und Nachteile anderer Heizungssysteme für solche Mehrfamilienhäuser gedämmt nach Passivhausstandard (Erdreich Wärmepumpe, Biomasse, fossil, zentral, dezentral, mit/ohne kontrollierter Lüftung) unter Berücksichtigung:

- Qualitative Kriterien (Komfort, soziale Akzeptanz etc., Benutzerfreundlichkeit, Fehleranfälligkeit)
- Endenergiebedarf, Primärenergiebedarf
- CO₂-äquivalent Emissionen
- Wärmegestehungskosten
- Erfüllung von unterschiedlichen Benutzeranforderungen (Lüftung, Temperatur, Innenwärmen)
- Reaktion auf Fensterlüftung und Wiederaufheizung nach Urlaubsperiode

Projektpartner und Aufgaben

- **Institut für Wärmetechnik , TU Graz**

- Gesamtleitung
- Definition der Gebäudegeometrie und des Gebäudeaufbaus der Referenzgebäude (WP 1.3)
- Modellierung, Validierung und Sensitivitätsanalyse der Referenzanlagen (WP 2)
- Darstellung weiterer Beurteilungskriterien (WP 4)
- Erstellung des Leitfadens und des Endberichts (WP 5)
- Mithilfe bei allen andern Arbeitspunkten

Wolfgang Streicher, Richard Heimrath, Thomas Mach, Karin Schweyer

Projektpartner und Aufgaben

- **Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE – AEE INTEC**
 - Erhebung von Daten für Benutzerprofile (WP 1.1)
 - Erfassung und Beschreibung der Heizungskonzepte (WP 1.2)
 - Kostenanalyse der Heizsysteme (WP 3)
 - Mithilfe bei allen andern Arbeitspunkten



Alexander Thür, Dagmar Jähnig, Irene Bergmann

Projektpartner und Aufgaben

- **Interuniversitäres Forschungszentrum für Technik, Arbeit und Kultur (IFZ)**
 - Mitarbeit bei Benutzerverhaltensanalyse (WP1.1) , Sensitivitätsanalyse (WP2) und nicht quantifizierbaren Kriterien (WP 4)

Harald Rohrer, Jürgen Suschek-Berger



- **Energieinstitut Vorarlberg**
 - Mitarbeit durch Zurverfügungstellung von Messdaten (WP 1.1), Anlagenparametern (WP 1.2), Kosten (WP 3) und nichtquantifizierbaren Kriterien aus den Erfahrungen des CEPHEUS-Projekt

Helmut Krapmeier



Projektpartner und Aufgaben

Beteiligte Firmen

- Drexel und Weiss, Energieeffiziente Haustechniksysteme GmbH
- Hexatherm Energietechnik GesmbH
- KWB Kraft & Wärme aus Biomasse GmbH
- Vaillant Ges.m.b.H.



- Zurverfügungstellung von Daten zur Haustechnik (technische Daten von Komponenten, Schaltungen, Kosten) und Betriebserfahrungen

Definitionen

- Studie beschäftigt sich nur mit Mehrfamilienhäusern, gedämmt nach Passivhausstandard
- Abluftwärmerückgewinnung ist eine technische Maßnahme und reduziert den Wärmebedarf des Gebäudes nicht (sondern nur den Nutzenergiebedarf zur Deckung desselben)
- Die betrachtete Wohnfläche ist die Nettonutzfläche
- Vergleichsgebäude: nachgerechnete Passivhäuser aus CEPHEUS
- Referenzgebäude: Für den Vergleich der betrachteten Heizungssysteme aus CEPHEUS und anderen Projekten erstellte Simulationsgebäude
- Heizungssysteme: entweder Luftheizungssystem (ev. gekoppelt mit Kamin- oder Kachelofen) mit AWR oder Wasserheizungssystem ohne AWR

Vorgehensweise

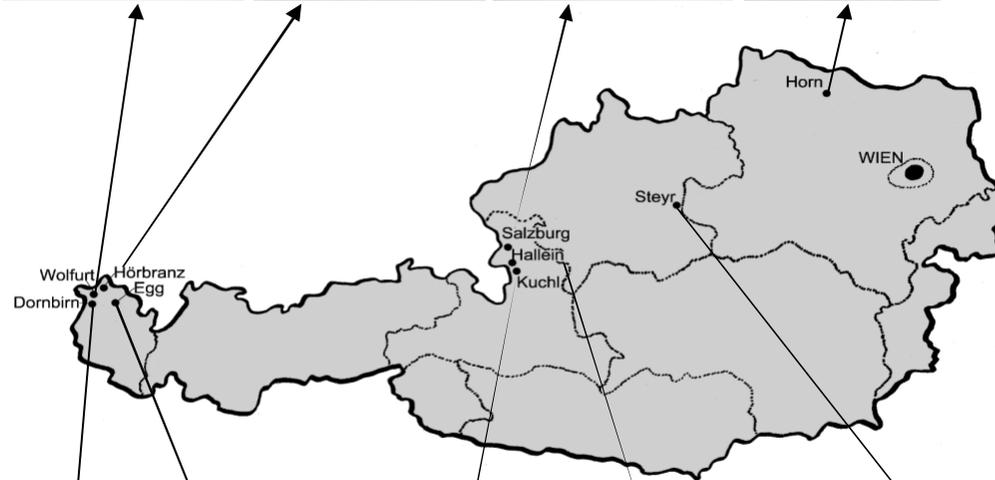
Analyse von Messdaten und Erhebungen früherer Projekte, dem EU-Projekt CEPHEUS und neue Befragungen in 52 Wohnungen (Gnigl, Kuchl, Egg, Gneis-Moos, Hörbranz)

- Benutzerprofile (Temperatur, Lüftung, Anwesenheit, Innenwärmen)
- Komfortansprüche
- Akzeptanz von Heizungskonzepten für Niedrigenergie- und Passivhäuser (Passivhauskonzept, Erdreich- Wärmepumpe, Biomasse(Pellets)kessel, verschiedene Wärmeabgabesysteme)

Simulation zweier Vergleichsgebäude (Egg, Hörbranz)

- Kalibrierung des Simulationswerkzeuges
- Abschätzung der Sensitivitäten der Eingabeparameter (Klima, Benutzerverhalten, Messgenauigkeiten etc.).

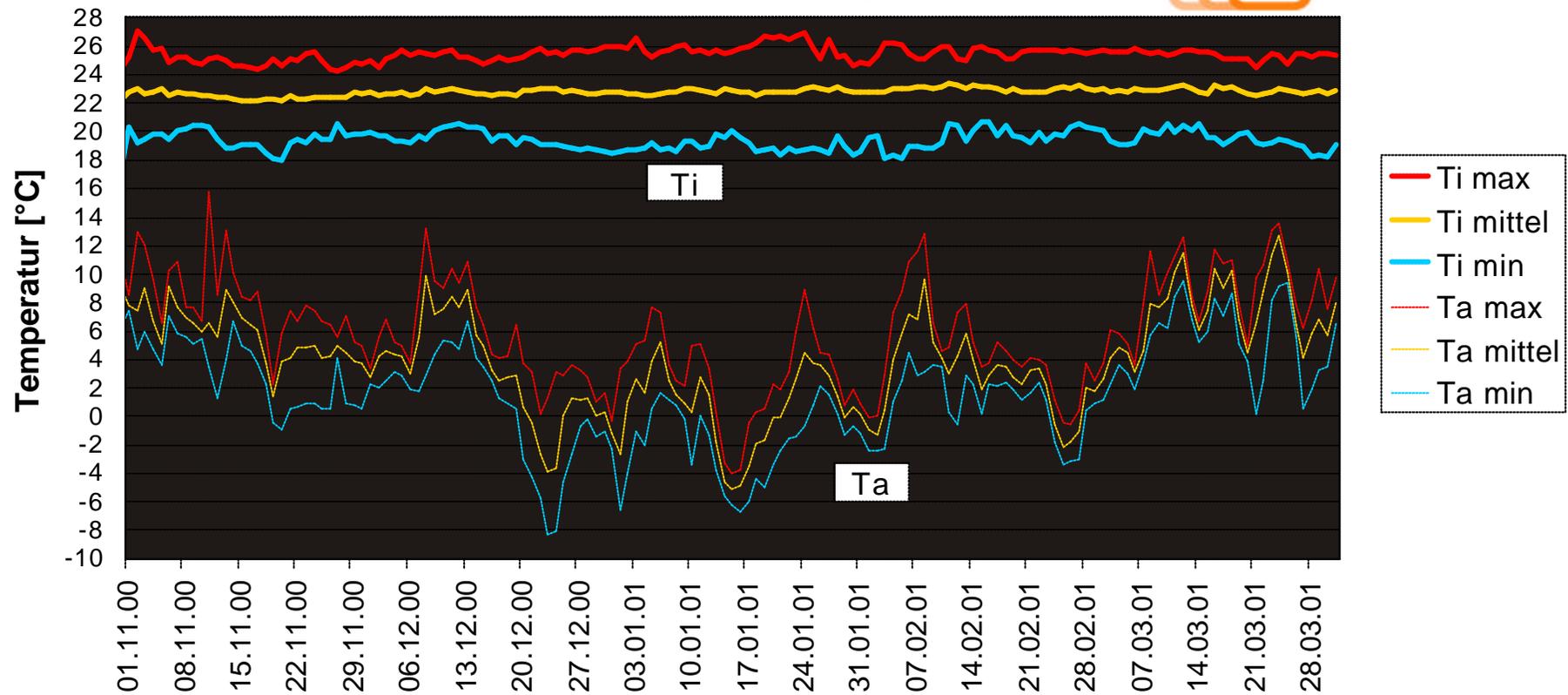
Projekt CEPHEUS

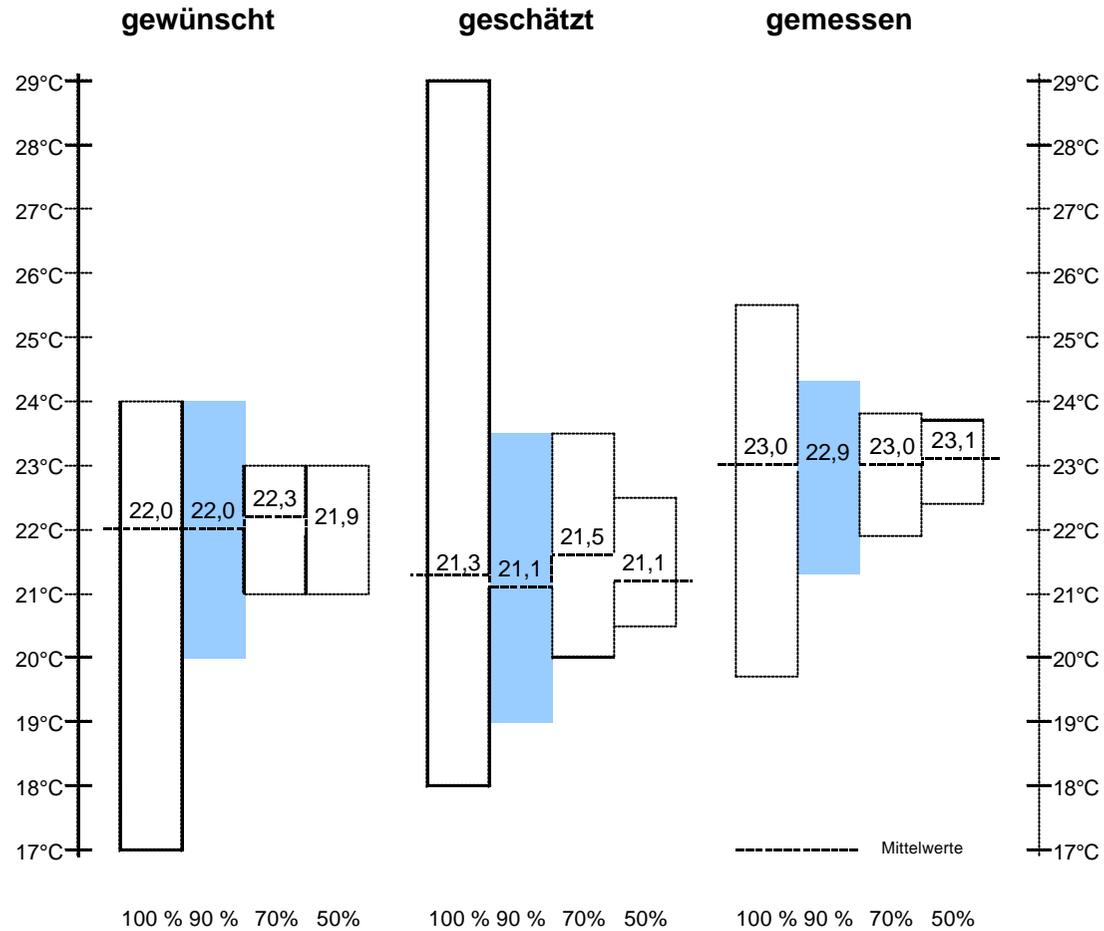


Österreich:
9 Projekte,
84 WE,
4 Bundesländer

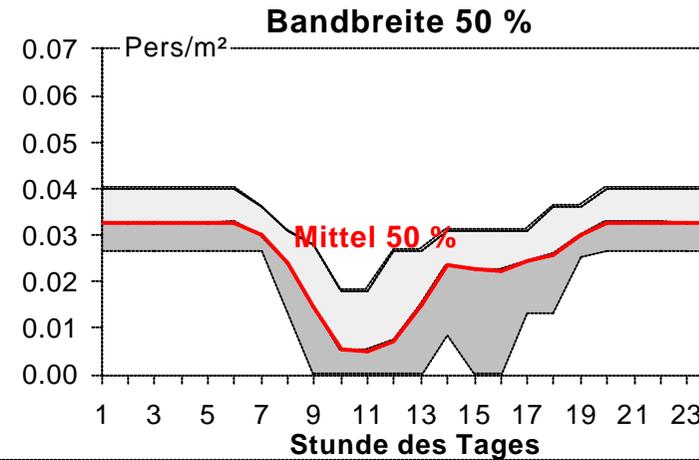
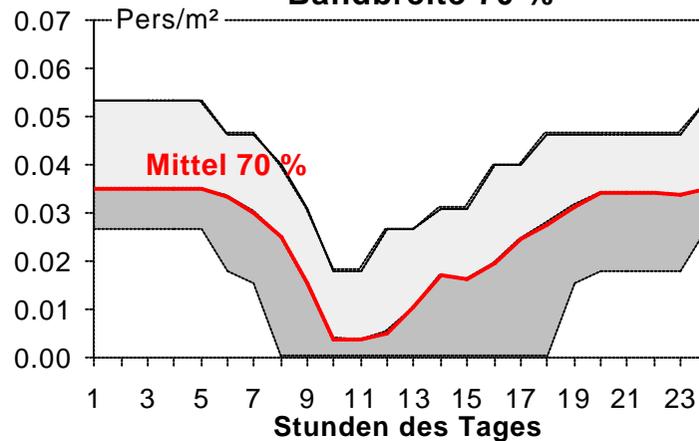
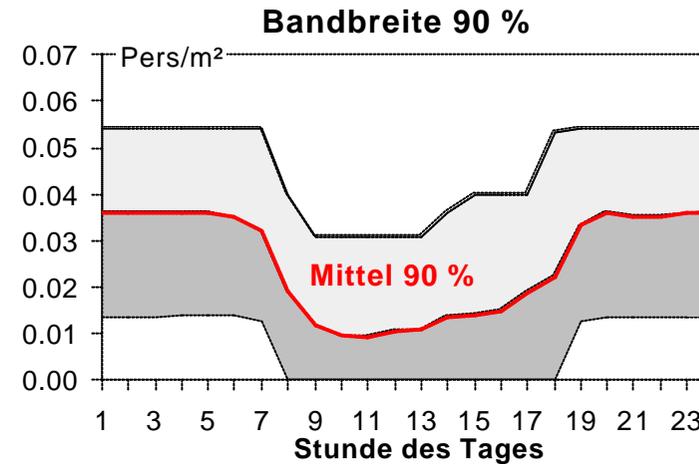
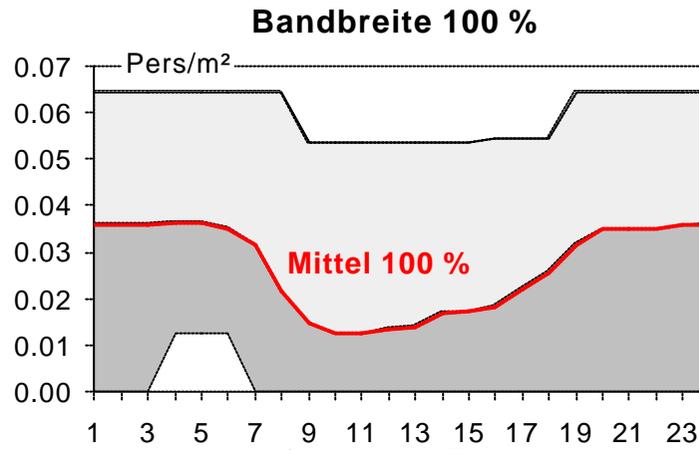


CEPHEUS Hüllkurven
Taussen und Tinnen, Tageswerte

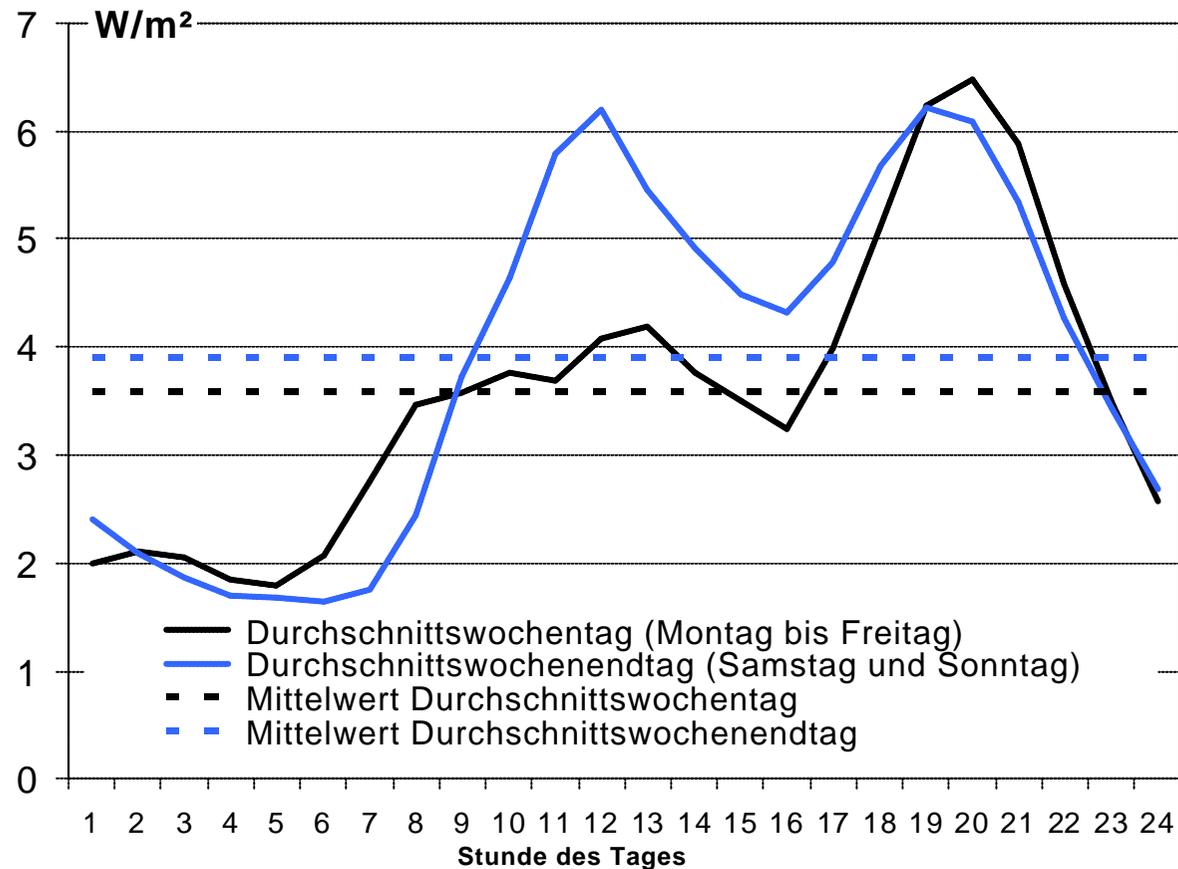




Belegung (Befragungswerte)

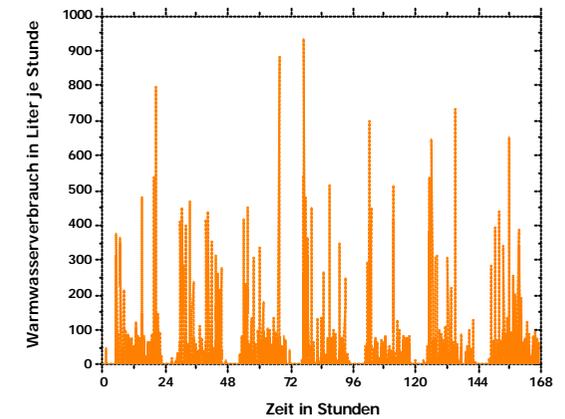
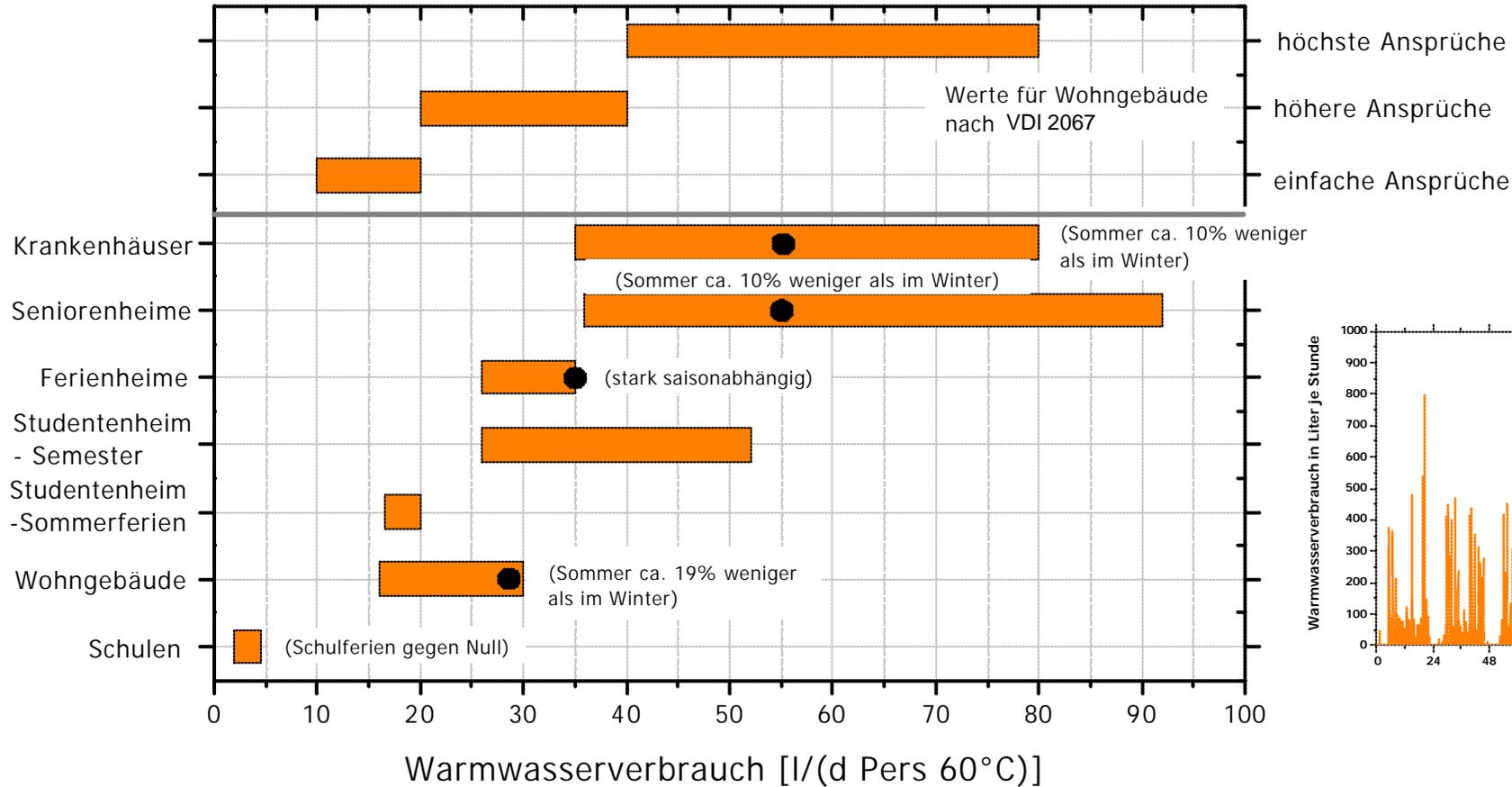


Mittleres Wochentags- und Wochenendprofil Haushaltsstrom



Brauchwarmwasser

Gewählt: 50 l/d_{pers-45°C} oder 35 l/d_{pers-60°C}



Vergleichsgebäude 1

Reihenhaus in Hörbranz



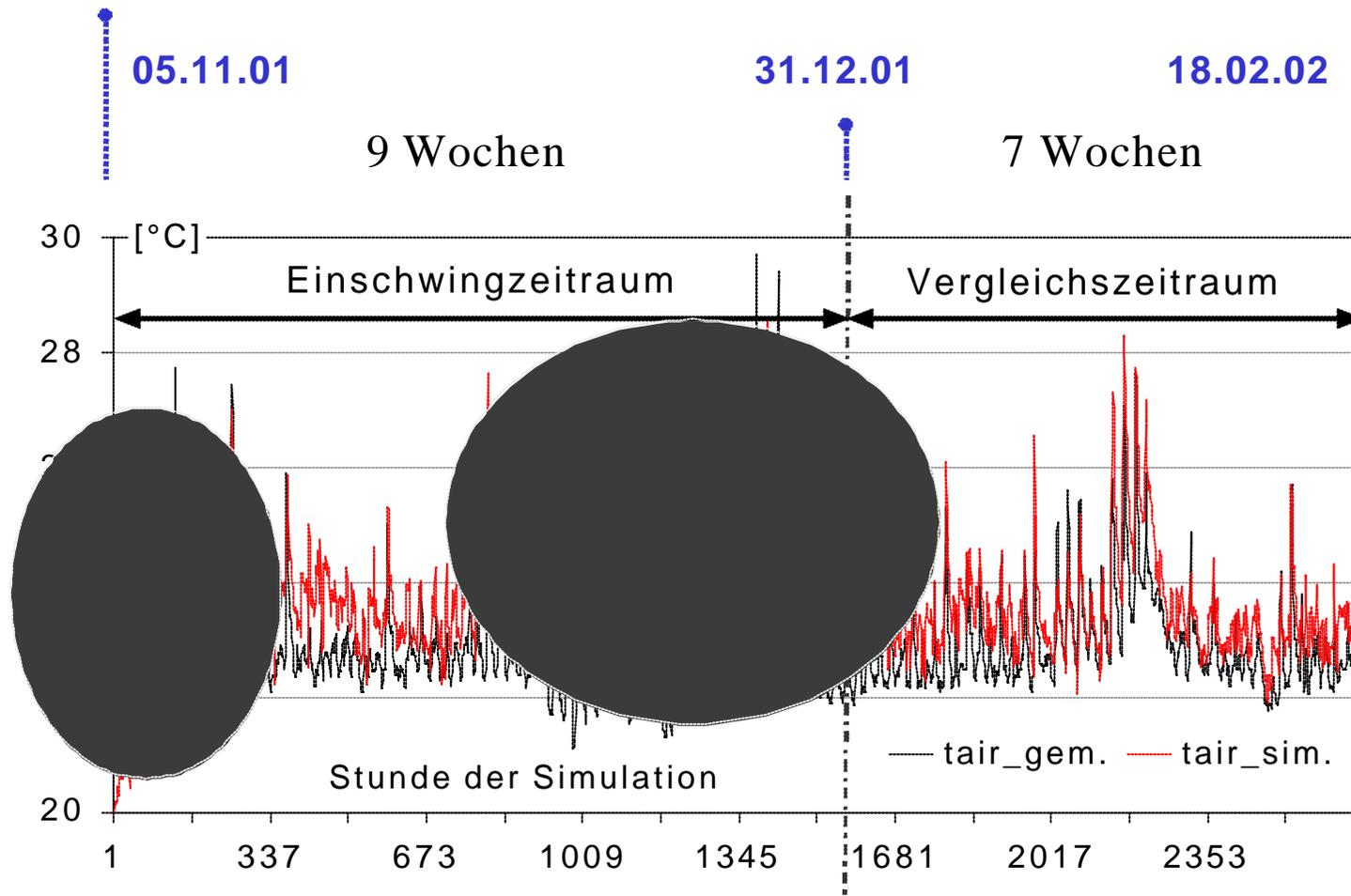
3 Wohneinheiten, WNF: 360 m², 12 Personen
 $U_{\text{Wand}} = 0,137 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\text{Dach}} = 0,092 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\text{g}} = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$

Vergleichsgebäude 2

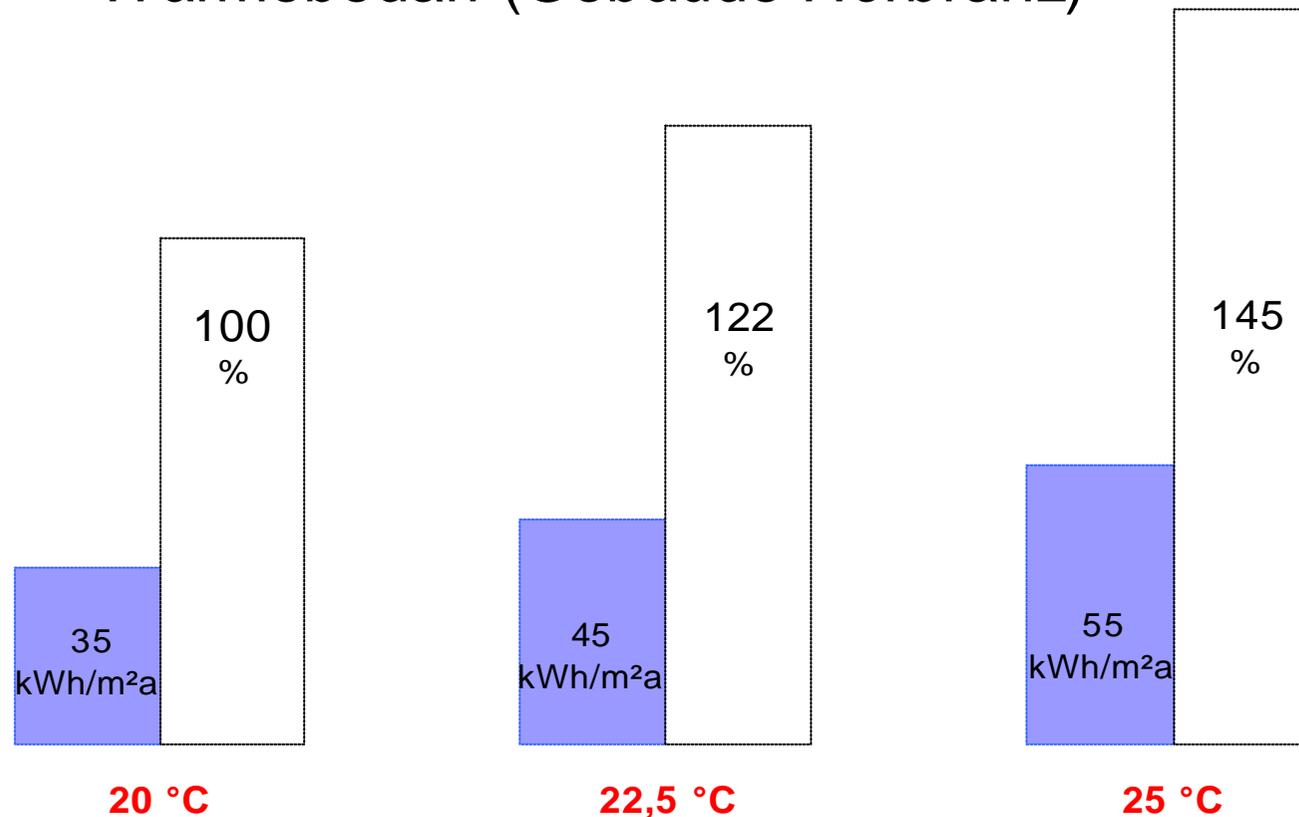
Mehrfamilienwohnhaus in Egg



4 Wohneinheiten, WNF: 321 m², 10 Personen
 $U_{\text{Wand}} = 0,121 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\text{Dach}} = 0,092 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\text{g}} = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$



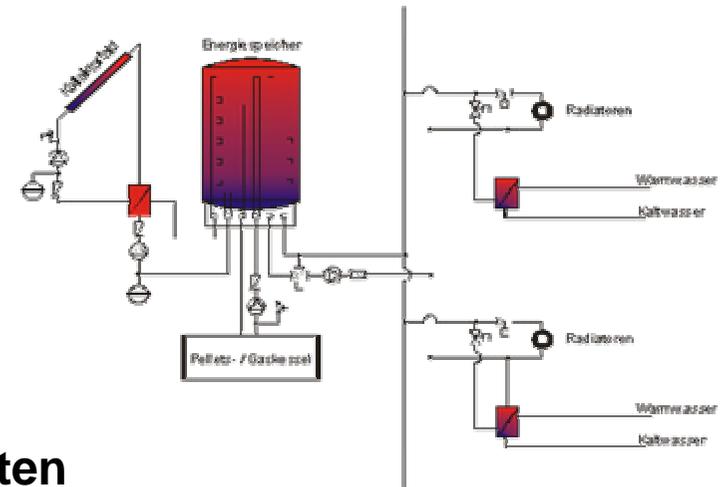
Auswirkungen der Raumlufttemperatur auf den Wärmebedarf (Gebäude Hörbranz)



Vorgehensweise

Generelle Bewertung von Heizungssystemen

- **Generelle Analyse von**
 - Wärmeerzeugern,
 - Wärmeverteilsystemen und
 - Wärmeabgabesystemen**hinsichtlich Ihrer Eignung für die betrachteten Gebäude**
- **Beschreibung, Vor- und Nachteile, Platzbedarf, Fehleranfälligkeit**
von 9 verschiedenen Heizungssysteme für die betrachteten Gebäude nach gleicher Struktur



Wärmeabgabesysteme

	Luftheizung	Wasserheizungssysteme			
		Wandflächen- heizung	Fußboden- heizung	Deckenheizung (Betonkernakt.)	Flachheiz- körper
Lüftung/Gebäude					
Zusätzliche Dämmung notwendig	Nein	Grundsätzlich: Nein, für schnelles Heizsystem: Ja	(Nein)	(Nein)	Nein
Wärmeabgabesystem entkoppelt Speichermassen	Nein	Ja	Nein	Nein	Nein
Luftdichtheit gefordert	Ja ($n_{50} < 0,6$)	Nein	Nein	Nein	Nein
Hygienischer Luftwechsel gesichert	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
Luftwechsel unabh. von Außenlärm	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
Abluftwärmerückgewinnung	Ja (>75 %)	Nein	Nein	Nein	Nein
Vermeidung von Feuchteschäden	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
Staubbildung	reduziert	Keine Aufwirbelung	(Nein)	Nein	(Ja)

Wärmeabgabesysteme

	Luftheizung	Wasserheizungssysteme			
Heizung		Wand	Fußboden	Decke	Radiator
Heizleistung (bei T_{max}) (Recknagel, 1991,	10 W/m ² _{Wohnfl.}	200 W/m ² _{Heizfl.}	80 W/m ² _{Heizfl.}	40 W/m ² _{Heizfl.}	1300W/m ² _{Heizfl.}
T_{max} Heizung	60 °C	50 °C	40 °C	35 °C	90 °C
Spez. Wärmeabgabe bei 40°C Heizungs-vorlauf	5 W/m ² _{Wohnfl.} bei n = 0,5	130 W/m ² _{Heizfl.}	80 W/m ² _{Heizfl.}	40 W/m ² _{Heizfl.}	530 W/m ² _{Heizfl.}
Heizung ohne Lüftung möglich	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja
Fensterlüftung möglich	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Heizung bei Fensterlüftung	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja
Eigenlärm der Heizung	(Nein)	Nein	Nein	Nein	Nein
Kühlung					
Kühlung Sommer (Luft-Erdreichwt,)	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
Nachtauskühlung Sommer (bei geschlossenem Fenster	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
Mögliche Kühlleistung	3 W/m ² _{Wohnfl.} bei n = 0,5	50 W/m ² _{Kühlfl.}	20 W/m ² _{Kühlfl.}	80 W/m ² _{Kühlfl.}	Kaum

Wärmeabgabesysteme

	Luftheizung	Wasserheizungssysteme			
Wärmeverteilung		Wand	Fußboden	Decke	Radiator
Flächenbedarf Wärmeverteilung	Mittel	Gering (Befestigungen nur mit Vorsicht)	Gering (Heizfläche Boden ist meist frei)	Gering (Heizfläche Decke ist meist frei)	Gering
Wärmeabgabesystem					
Anteil Strahlungswärme	Gering	Hoch	Hoch	Hoch	Mittel
Luftbewegung durch Abgabesystem	Mittel	Gering	Gering	Gering	Mittel
Gleichmäßige Raumtemperaturvert.	Mittel	Gut	Gut	Mittel (Heizung)	Mittel
Zugluft bei Lüftung	Gering	Hoch (Querlüftung)	Hoch (Querlüftung)	Hoch (Querlüftung)	Hoch (Querlüftung)

Qualitativ betrachtete Systeme

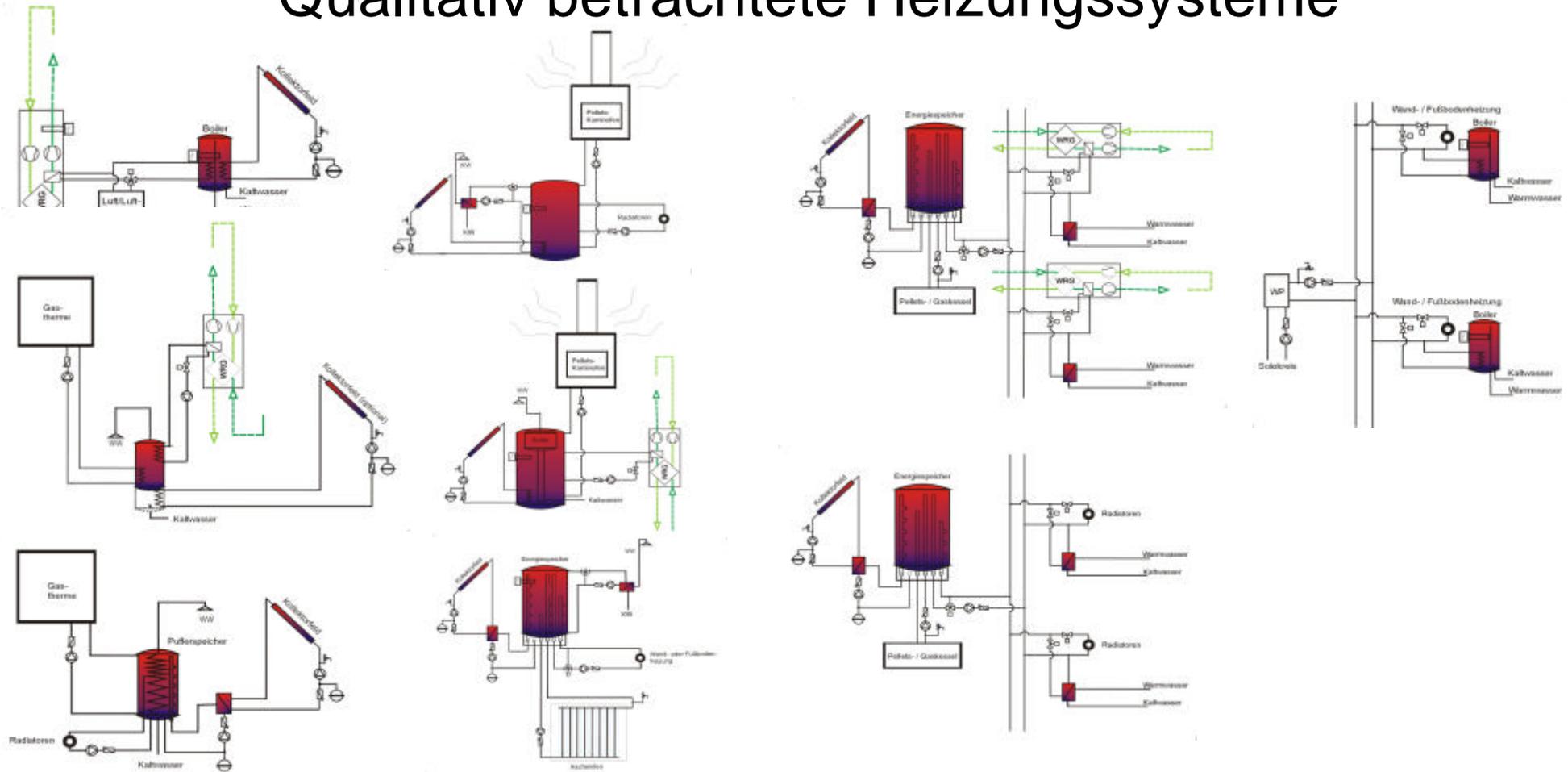
Dezentrale Systeme

- Kleinstwärmepumpe – Luftheizung (simuliert)
- Gastherme – Luftheizung
- Gastherme – Wasserheizung
- Pelletskaminofen – Luftheizung
- Pelletskaminofen – Wasserheizung
- Kachelofen – Wasserheizung

Zentrale Systeme

- Sole-Wärmepumpe – Wasserheizung (simuliert)
- Pellets- oder Gaskessel – Luftheizung
- Pellets- oder Gaskessel – Wasserheizung (simuliert)

Qualitativ betrachtete Heizungssysteme



	Kleinstwärmepumpe – Luftheizung – dezentral	Gastherme – Luftheizung – dezentral	Gastherme – Wasserheiz. – dezentral	Pellets-kaminofen – Luftheizung – dezentral	Pellets-kaminofen – Wasserheizung – dezentral	Sole-Wärmepumpe – Wasserheizsyst. – zentral (mit Speicherbel.)	Pellets- oder Gask. zentral – Luftheizsystem dezentral	Pellets- oder Gaskessel – Wasserheizsystem – zentral	Kachelofen – Wasserheizung – dezentral
Einsatzgebiet	E,R	E,R	E,R,G	E,R	E,R	E,R,G	E,R,G	E,R,G	E,R
Wärmequelle									
Außenluft	x	x		x			x		
Abluft	x	x		x			x		
Erdreich						x			
Biomasse				x	x		x(o)	x(o)	x
Fossil (Gas, Öl)		x	x				x(o)	x(o)	
Strom	x					x			
Solar	e	o	o	o	o	b	o	o	e
Ca. Platzb.f (Wärmeerz. und Speicher ohne Rohrl.)⁷⁾ [m²]	1,0 (+0,4) /WE	1,5 (+0,4) /WE	1,0(+0,4) /WE	2,8(+0,1) /WE	2,5(+0,1) /WE	0,5/WE 1,0/Geb.	0,8/WE 3,0/Geb.	0,5/WE 3,0/Geb.	4(+0,1) /WE
Mögliche Wärmeabgabe:									
Radiator			x		x	b		x	x
Fußbodenheizung			x		x	x		x	x
Wandheizung			x		x	x		x	x
Deckenheizung			x		x	x		x	x
Luftheizung	x	x		x			x		
Wärmeträger Heizung	Luft	Luft	Wasser	Luft	Wasser	Luft	Wasser	Luft	Wasser
Vorteile									
Lüftung durch Heizsyst. Heizung stromunabh.	x	x		x			x		b
Nachteile									
Kleine Heizlast notw. Pufferspeicher notwendig Fläche für Erdkollektor	x	x	e	x	x	x	x	x	x

x: trifft zu; b: trifft bedingt zu

e: empfohlen; o: optional

⁷⁾WE: Wohneinheit, Geb. Gebäude, Werte in Klammern für Solaranlage

E: Einfamilienhaus

R: Reihenhaus

G: Geschosswohnbau

Vorgehensweise

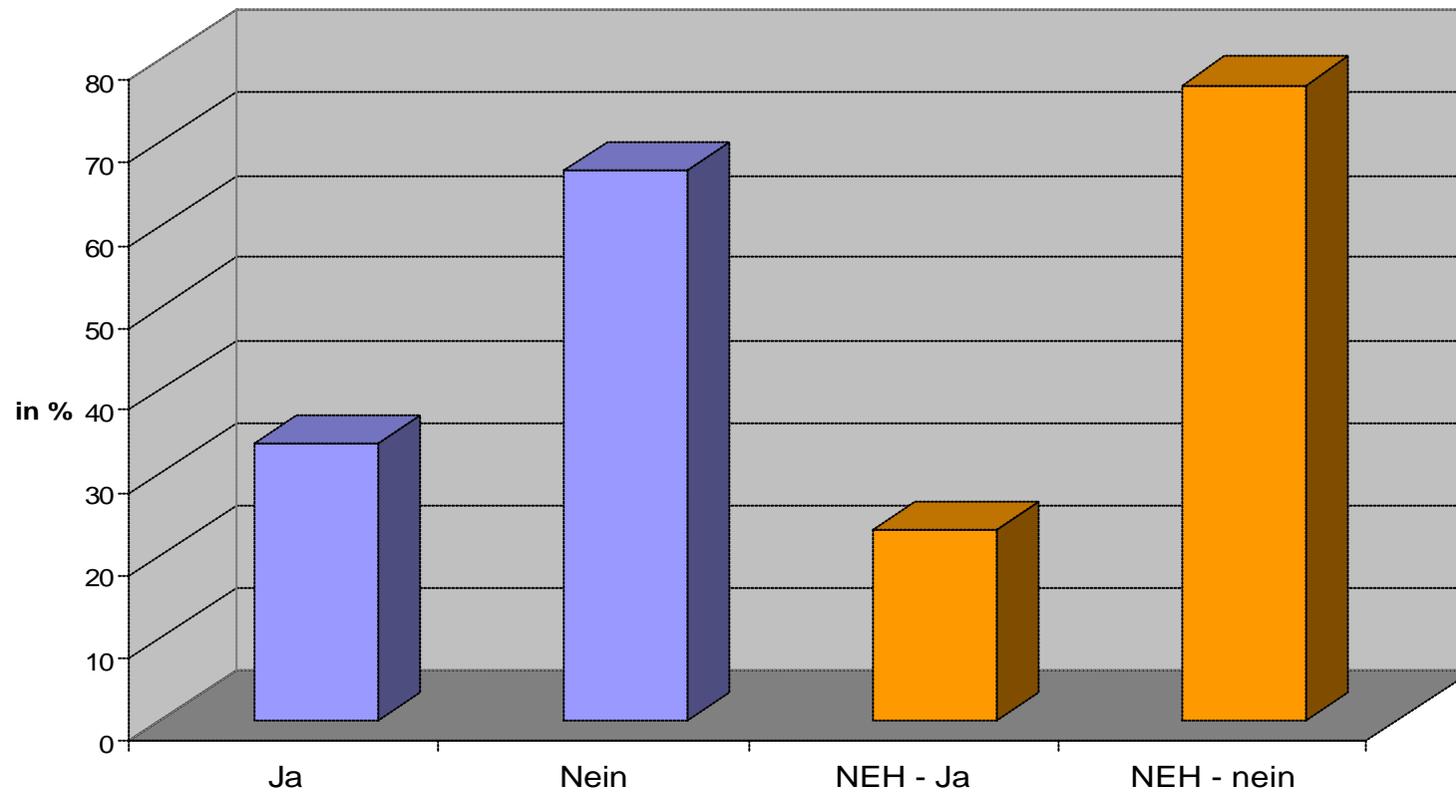
Darstellung weiterer Beurteilungskriterien für die Heizungssysteme

- Kontrollierte Wohnraumlüftung kann subjektiv als positiv (immer ausreichend frische Luft im Gebäude) oder negativ (Zwangsbelüftung) gesehen werden.
- Sind Wärmeerzeuger auch in den notwendigen Heizleistungen erhältlich.
- Platzbedarf des Systems
- Möglichkeit der Nutzung zur sommerlichen Kühlung
- Fehlerfreundlichkeit bei Installation und Betrieb
- Vorhandenes Wissen bei Planern und Ausführenden über das System und dessen Anforderungen an das Gebäude.

Bekanntheit Heizanlage in MFH

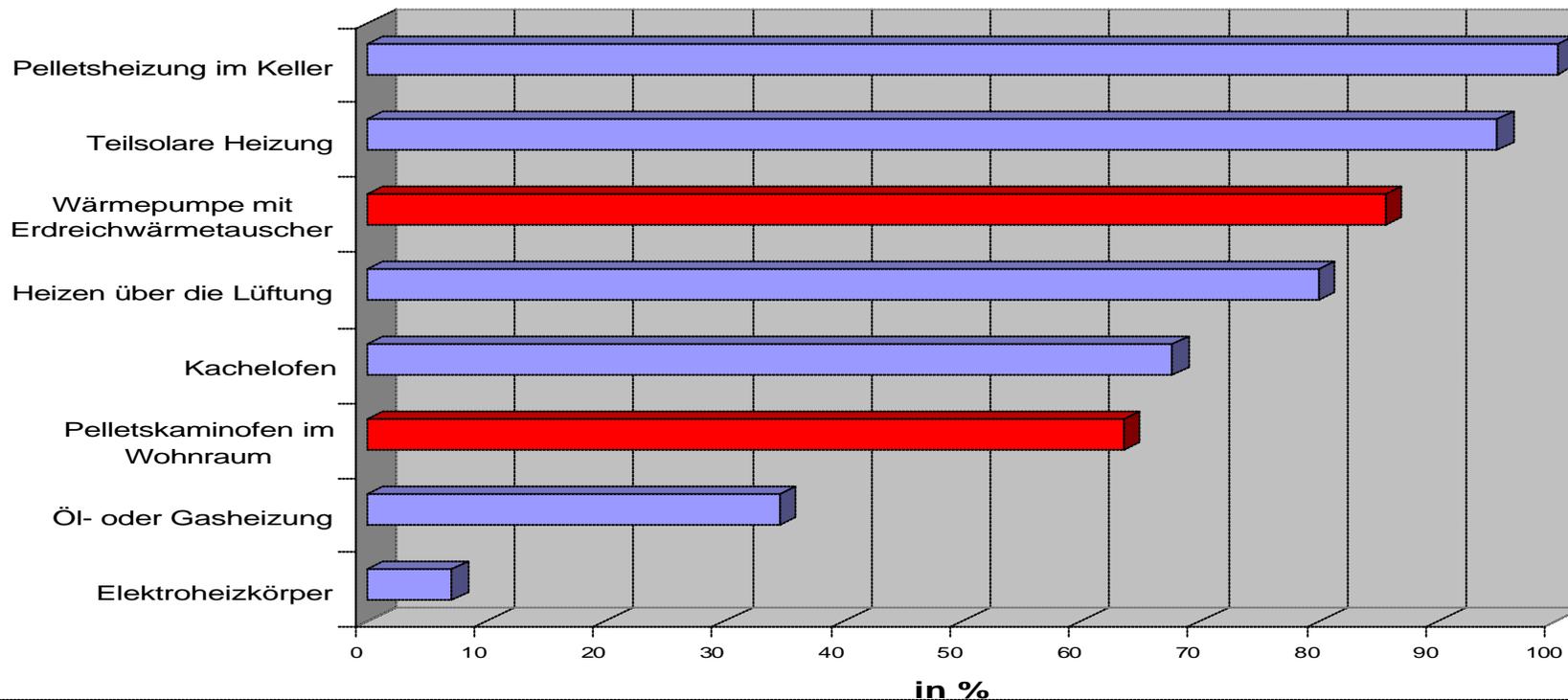
Quelle: Könighofer et al., 2001, n=467

Wissen Sie, um welche Heizanlage es sich handelt?



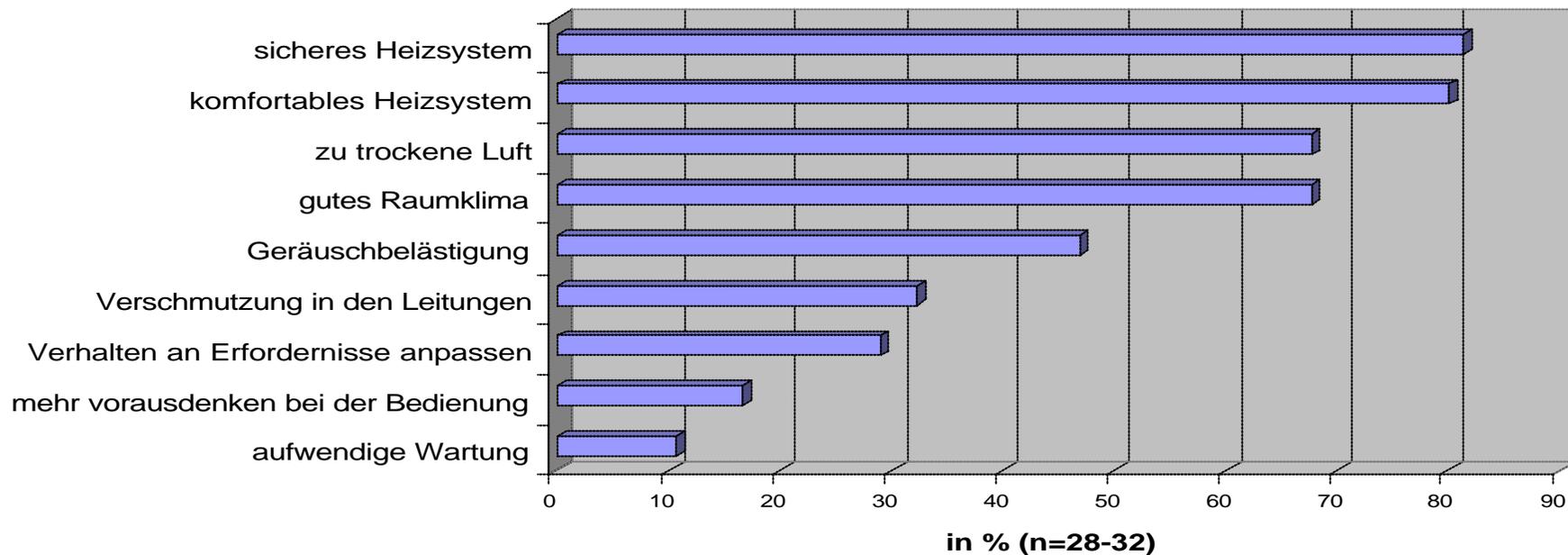
Welche Heizung ist bei einem NEH oder Passivhaus wünschenswert?

Quelle: Streicher et. al. 2001, n=53



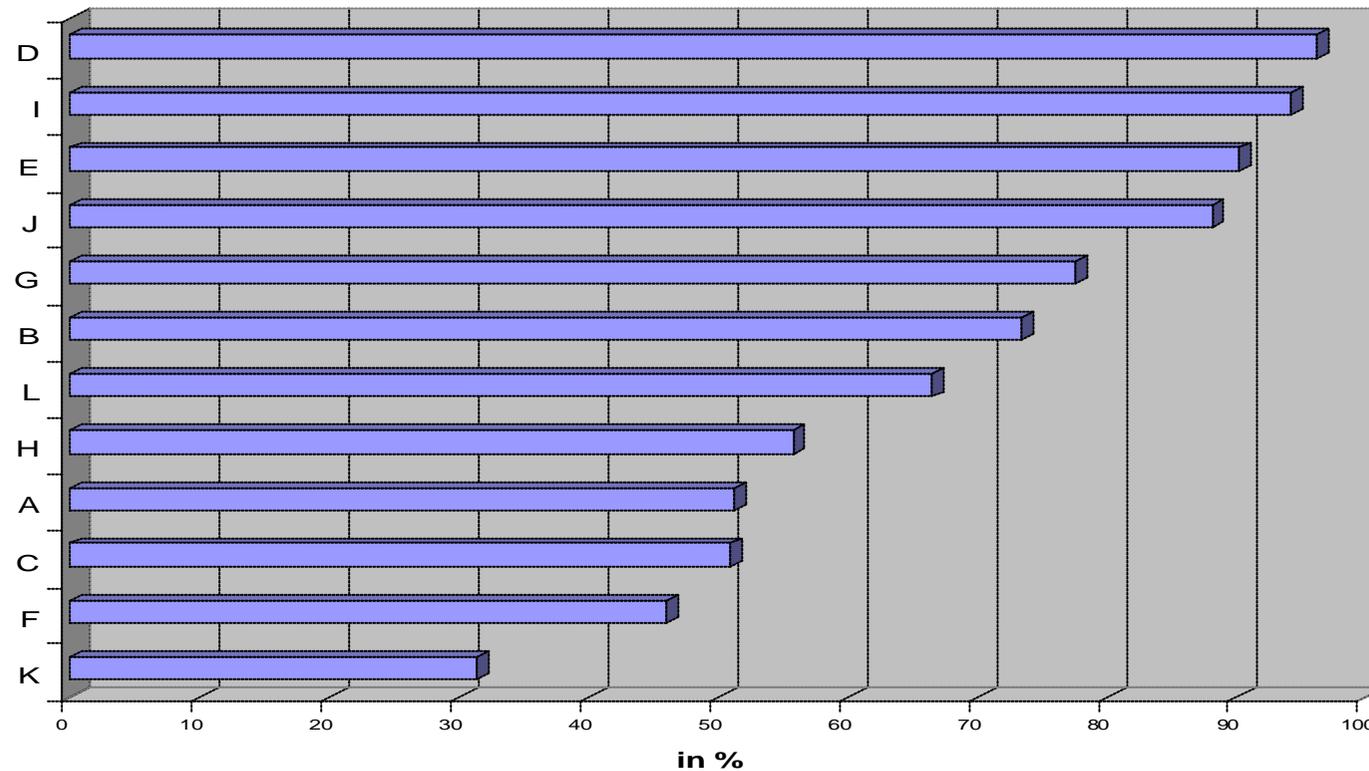
Was verbinden Sie mit der Luftheizung in Ihrer Wohnung?

Quelle: Streicher et al. 2001, n=53



Einstellungen zur Heizung

In welchem Ausmaß würden Sie folgenden Aussagen zustimmen? (Quelle: Streicher et al. 2001, n=53)



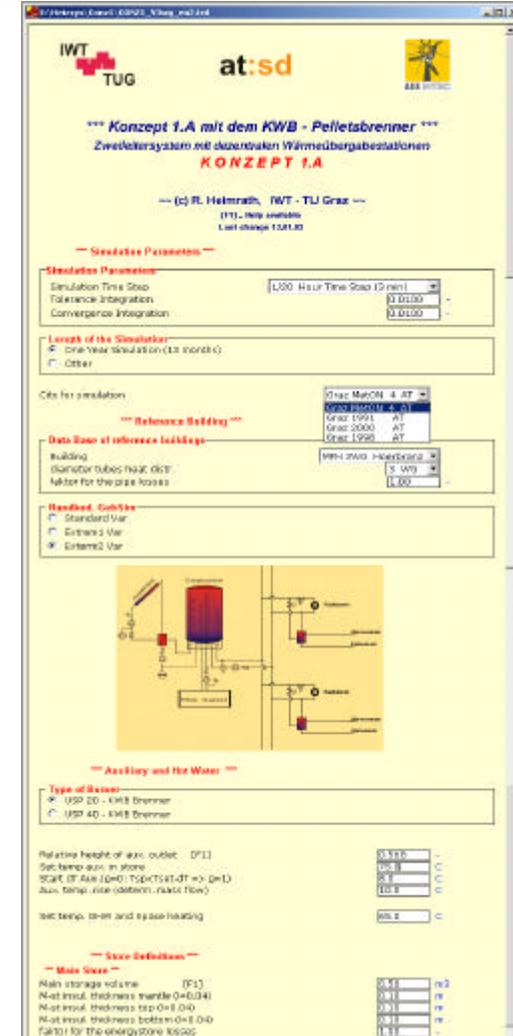
Einstellungen zur Heizung

D	Die Heizung im Schlafzimmer möchte ich nachts abdrehen können.
I	Mir ist es wichtig, die Temperaturen in den Räumen getrennt regeln zu können.
E	Wenn ich meine Wohnung nicht lüften kann wie ich möchte, dann fühle ich mich unwohl.
J	Eine Luftheizung ohne zusätzliches Heizsystem ist mir zu unsicher.
G	Mir ist es wichtig, zum Heizen erneuerbare Energieträger zu verwenden.
B	Es ist ein Vorteil, keine Heizkörper in den Zimmern zu haben.
L	Es ist einfach behaglicher, wenn man eine strahlende Wärmefläche im Haus hat.
H	Auch im Winter lasse ich das Schlafzimmerfenster nachts gerne gekippt.
A	Ein Vorteil einer Luftheizung ist, dass ich mir ein separates Heizsystem erspare.
C	Es ist ein Vorteil, wenn es im ganzen Haus gleichmäßig warm ist.
F	Am liebsten wäre mir, wenn bei der Heizung alles automatisch geregelt würde.
K	Ich fände es bequem, wenn ich zum Lüften nicht die Fenster öffnen müsste.

Vorgehensweise

Simulation von 4 ausgewählten Heizungssystemen in TRNSYS

- In jeweils beiden Referenzgebäuden
- Mit/ohne zusätzliche Solaranlage
- Benutzerverhalten: Standard und zwei Extremvarianten (hohe Heizlast, Niedrige Heizlast)
- Robustheit der Heizungssystemen auf unterschiedliches Benutzerverhalten (Fenster offen gelassen, Wiederaufheizung nach längerer Absenkung)





Referenzgebäude 2

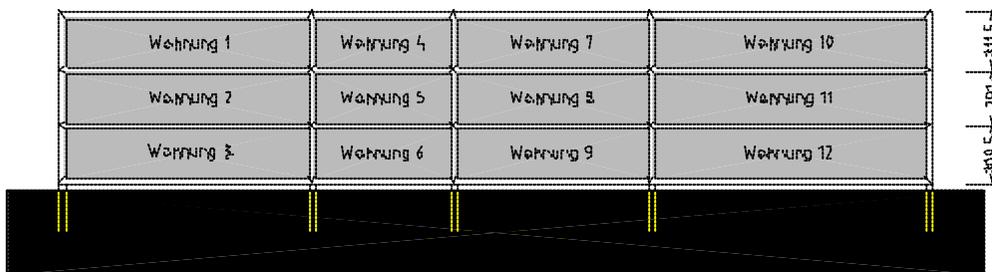
Eckdaten

- Dämmstandard „Hörbranz“
- 12 Wohnungen
- Wohnnutzfläche 930 m²
(50 - 100 m² je WE)
- Umbautes Netto-Volumen 2417 m³
- Südfensterflächenanteil 33 %
- $A/V = 0,51\text{m}^{-1}$

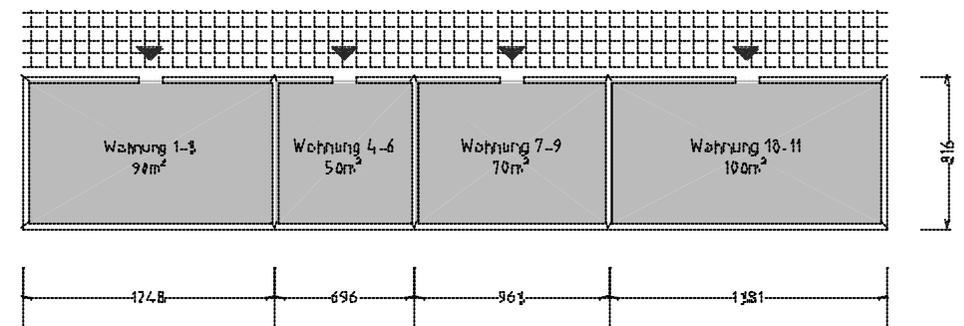
Energetische Kennzahlen

- Heizlast (DIN 4701) – 28,4 kW
30,5 W/m²
- Heizlast (100% WRG) – 13,3 kW
14,3 W/m²
- Heizenergiebedarf – 38502 kWh/a
41,4 kWh/m²a

SYSTEMSCHNITT

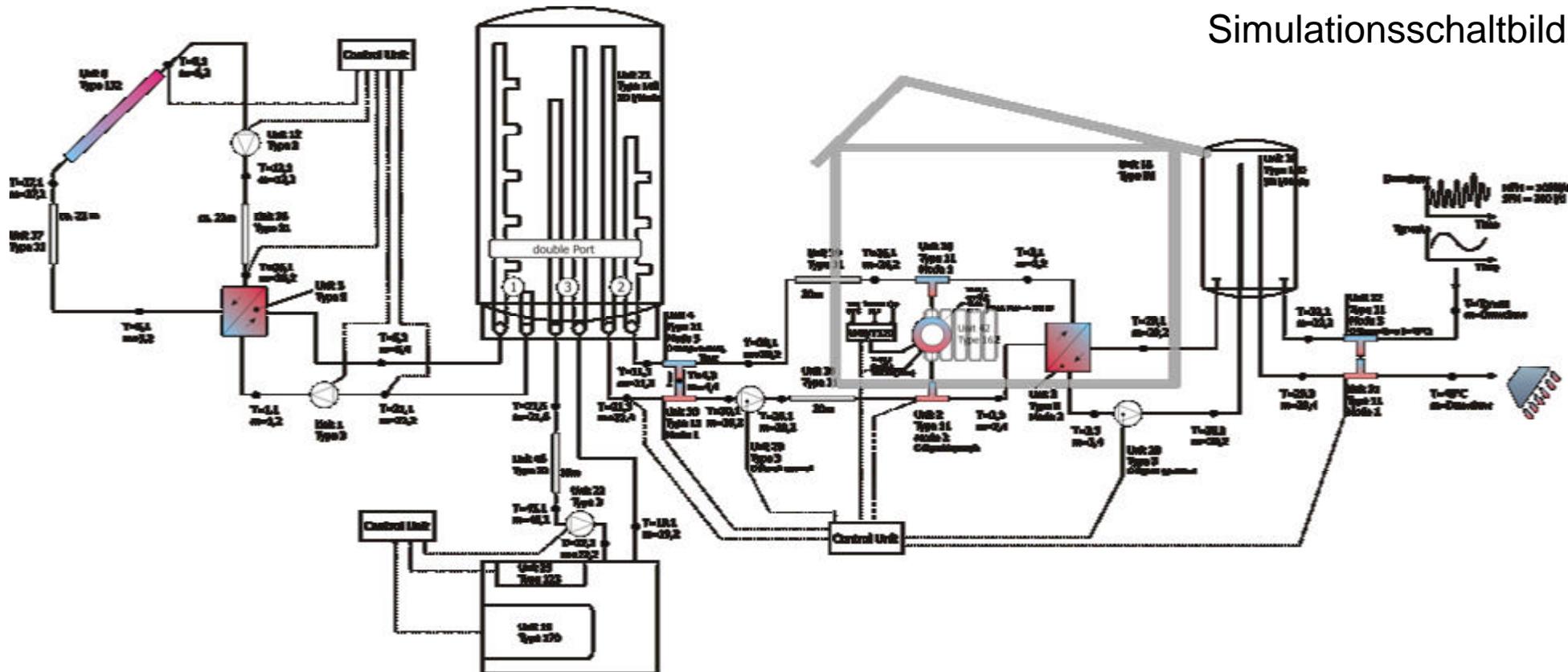


SYSTEMGRUNDRISS



Pelletskessel - Zweileiter

Simulationsschaltbild

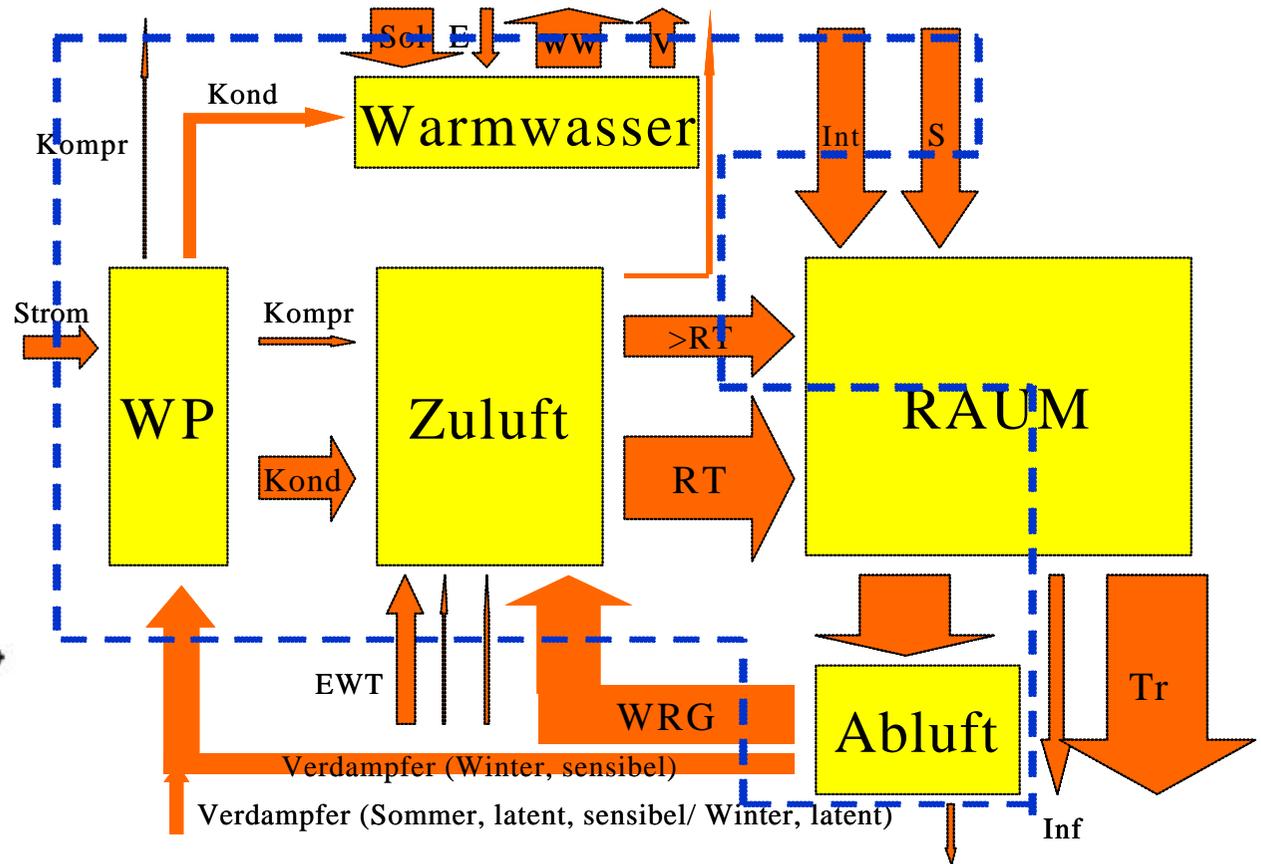
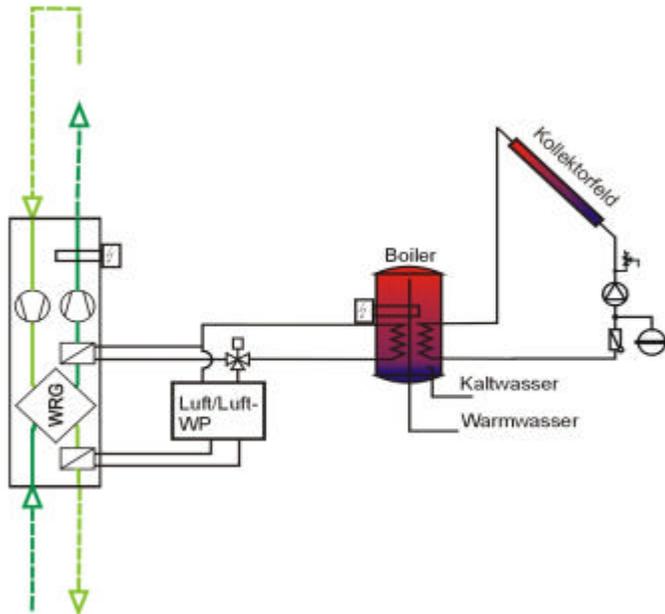


Vorgehensweise

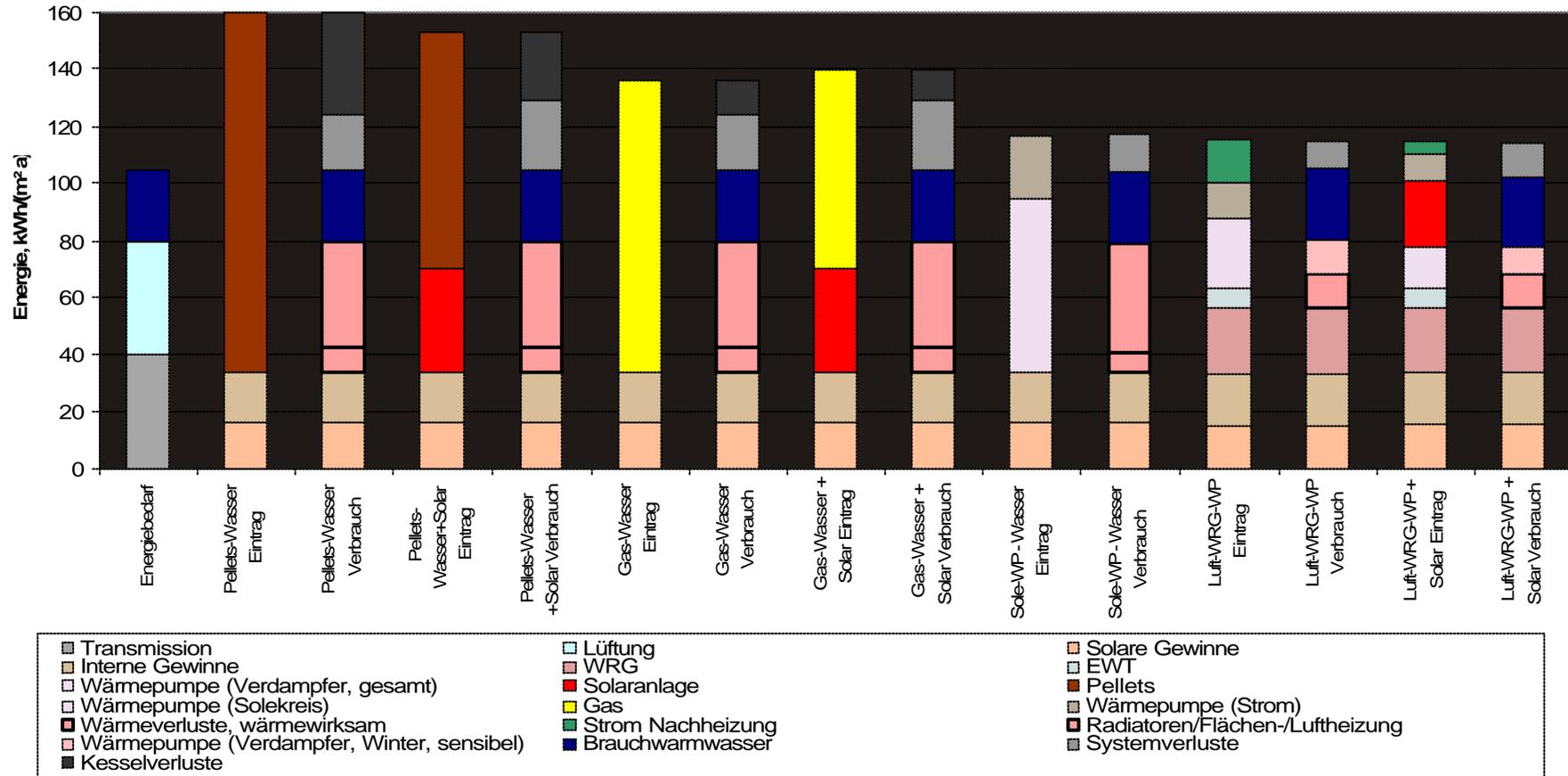
Vergleich der 4 ausgewählten Konzepte auf Basis

- Endenergiebedarf
- Primärenergiebedarf
- CO₂-äquivalent Emissionen
(nach Gemis und Literatur)
- Wärmegestehungskosten (nach VDI 2067, Betriebsenergiebedarf gerechnet, Kosten aus Literatur und Offerten)
- Erfüllung von unterschiedlichen Benutzeranforderungen (Lüftung, Temperatur, Innenwärmen)
- Reaktion auf Fensterlüftung und Wiederaufheizung nach Urlaubsperiode

Energiebilanz
dezentrale
Luft-Luft
Wärmepumpe



Energiebilanz Standardvariante (3 WE)



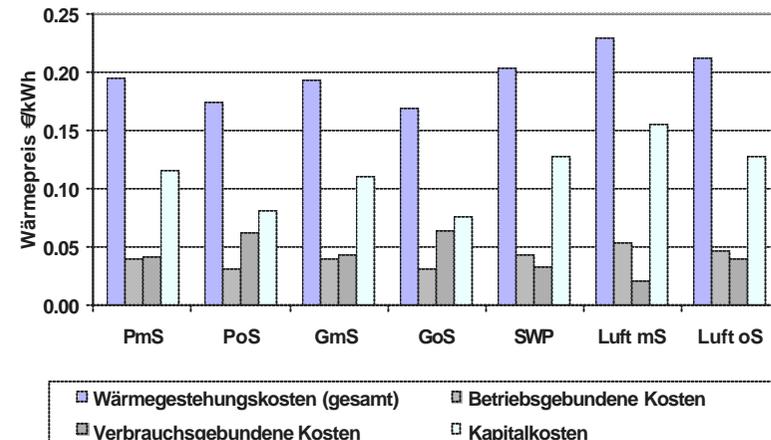
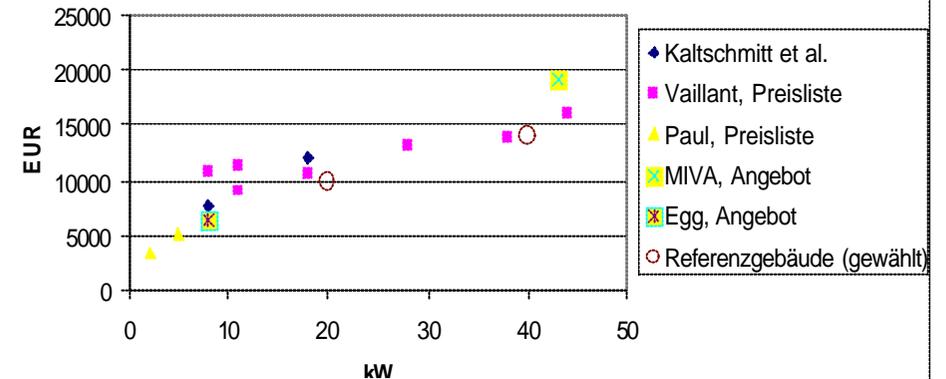
Kostenermittlung

Wärmegestehungskosten nach VDI 2067

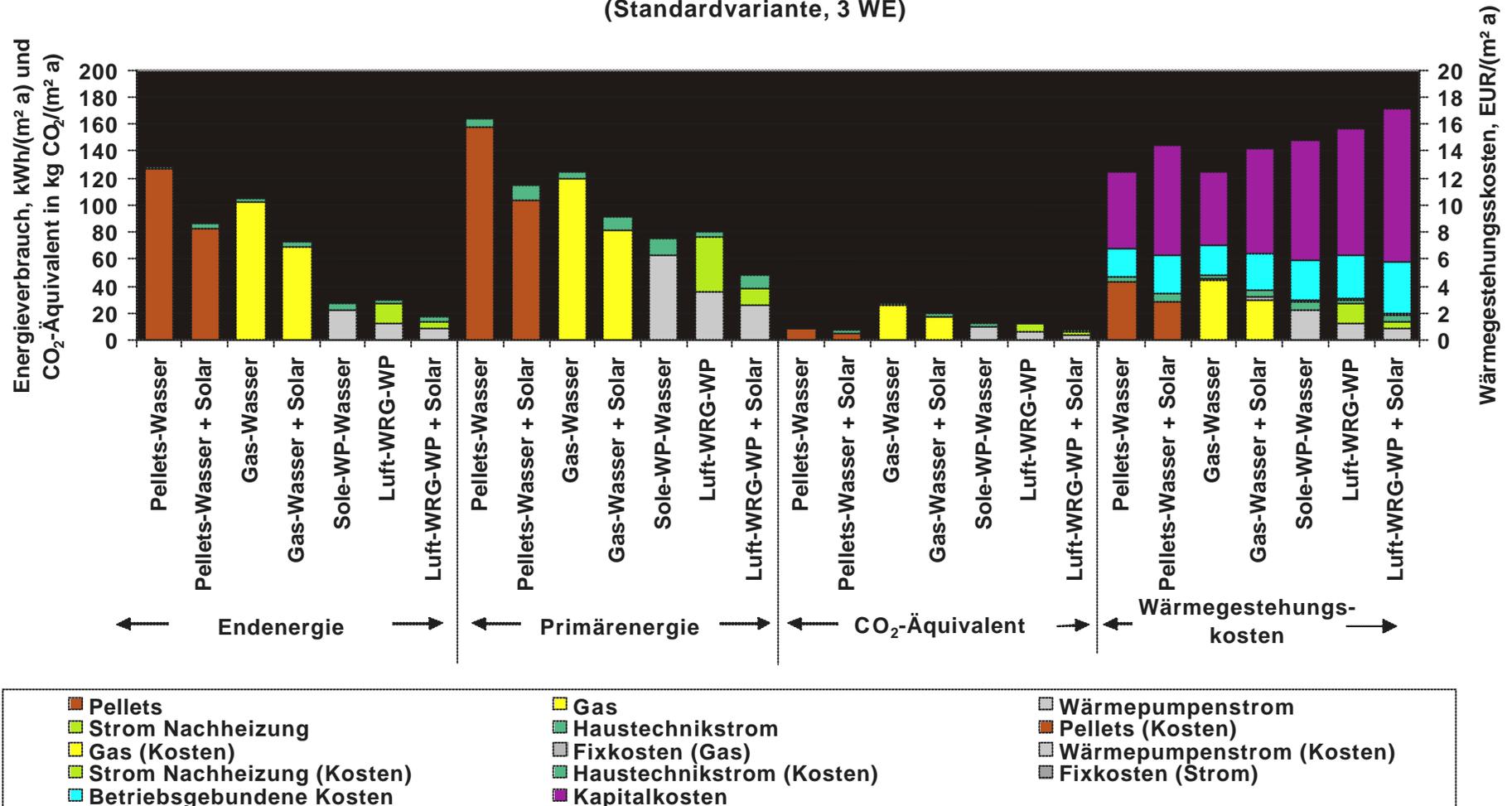
- Betriebsenergiebedarf gerechnet,
- Energiekosten aus Österreichischen Tarifen (EVA Homepage)
- Investitionskosten aus Literatur, Preislisten und Offerten
- Annuitäten mit gewichteten Lebensdauern für die einzelnen Komponenten

CO₂-äquivalent Emissionen

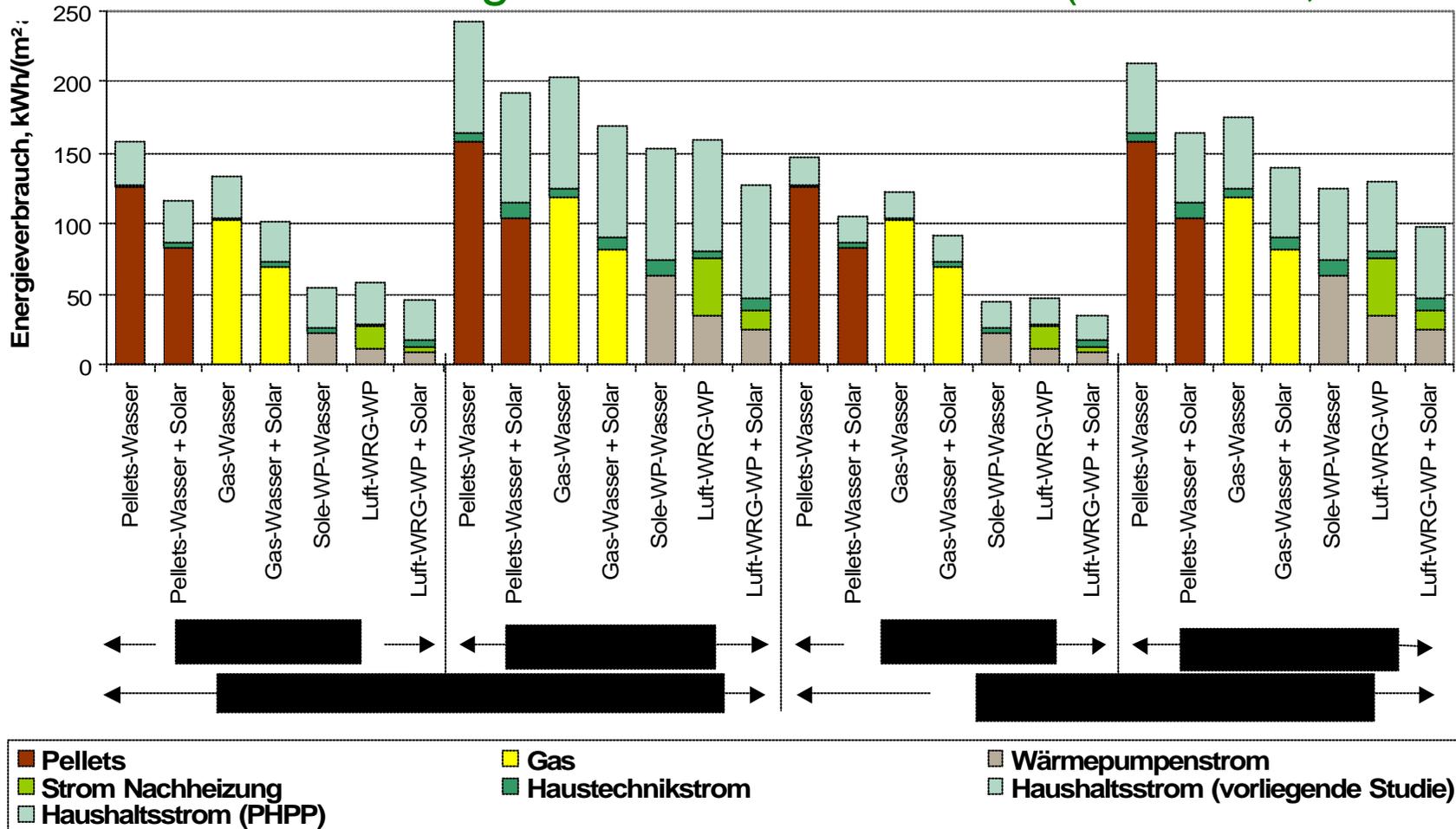
- Gemis, Neubarth/Kaltschmitt
- Energiebedarf gerechnet



End- und Primärenergie, CO₂-Äquivalent und Betriebskosten Vergleich aller Systeme
(Standardvariante, 3 WE)



End- und Primärenergie mit Haushaltsstrom (Standard, 3 WE)





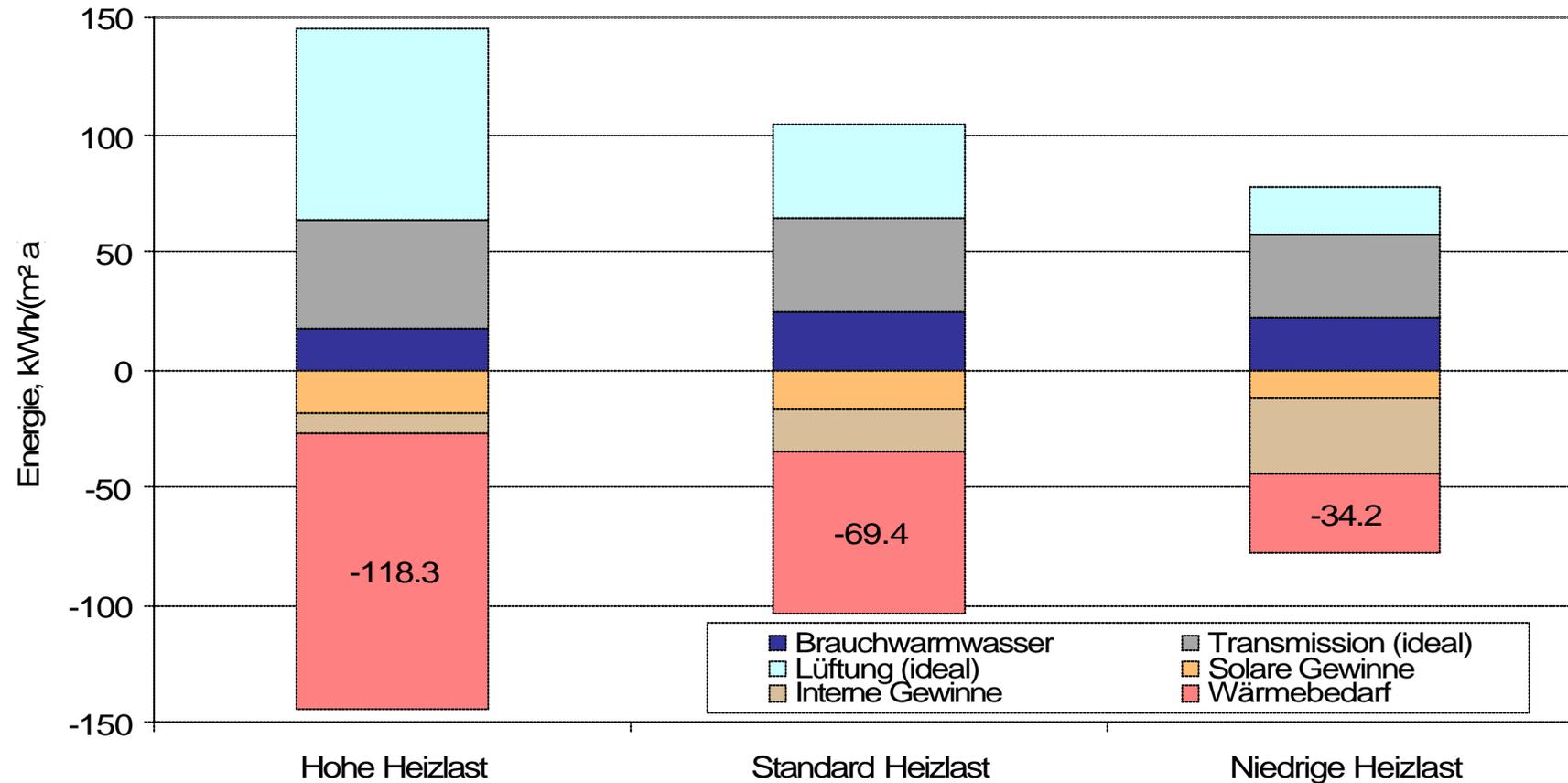
Zusammenfassung - Standardvariante

- Alle simulierten Systeme können den Energiebedarf unter den angenommenen Referenzbedingungen decken.
- Luft/Luft/Wasser-WP mit Solaranlage hat den geringsten End- und Primärenergiebedarf aber die höchsten Wärmegestehungskosten (aber Lüftungsanlage inkludiert)
- Pellet-Wasser-System mit Solaranlage hat die geringsten CO₂-Äquivalent Emissionen
- Die Sole-WP schneidet bei Energiebedarf, CO₂-Äquivalent Emissionen und Wärmegestehungskosten gleich ab wie die Luft/Luft/Wasser-WP ohne Solaranlage.
- Das Pellets-Wasser und das Gas-Wasser System haben die geringsten Wärmegestehungskosten.
- Zwischen dem 3 WE und dem 12 WE Gebäude ergeben sich nur geringfügige Unterschiede

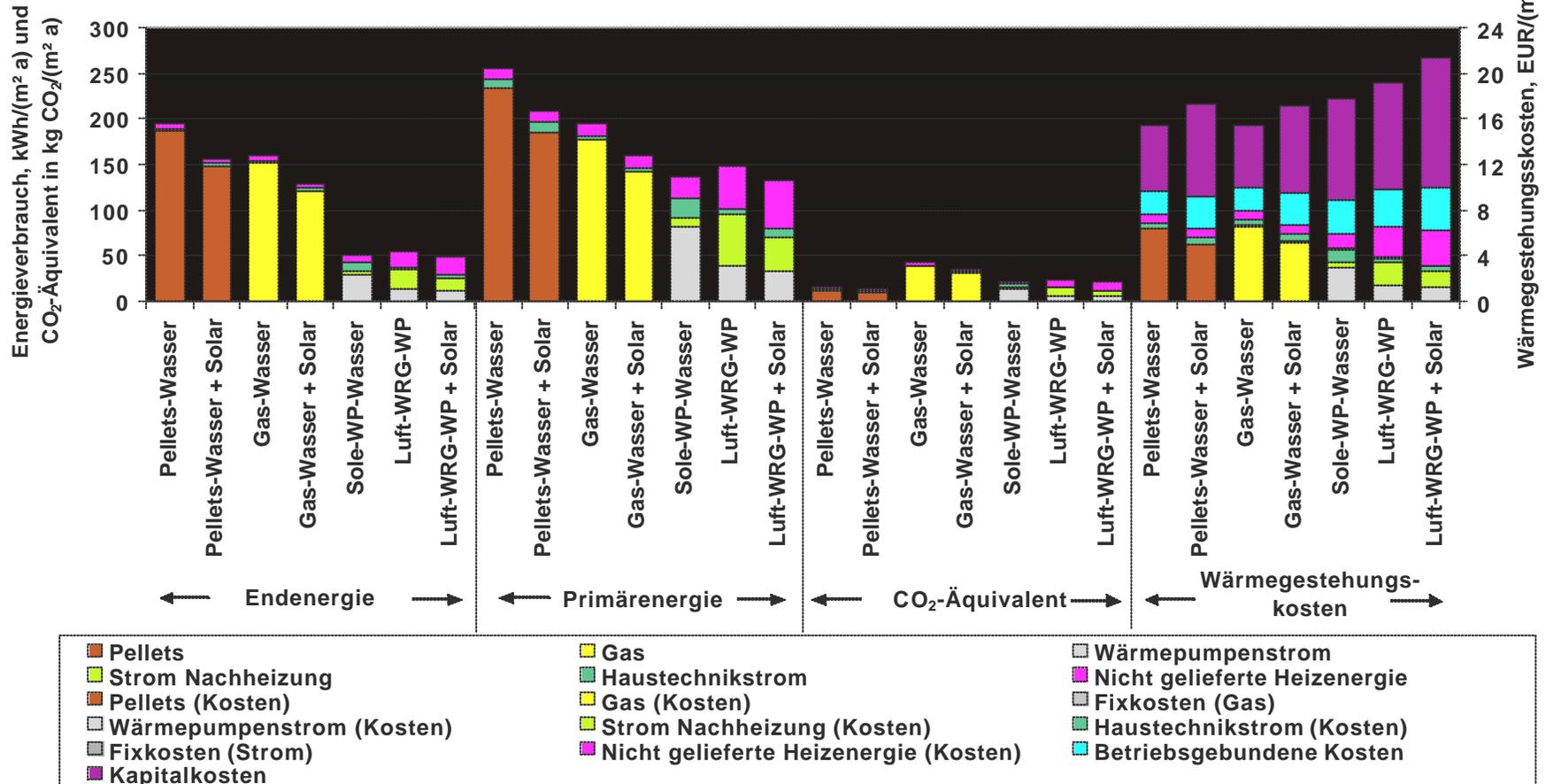
Vergleich der Extremszenarien

	Hohe Heizlast	Standard Heizlast	Niedrige Heizlast
Raumsolltemperatur	25°C	22,5°C	20°C
Luftwechselrate	0,8 h ⁻¹	0,4 h ⁻¹	0,2 h ⁻¹
Interne Lasten	2 Personen pro WE, 3 kWh/d Stromverbrauch	4 Personen pro WE, 7 kWh/d Stromverbrauch	6 Personen pro WE, 15 kWh/d Stromverbrauch
Brauchwarmwasserbedarf	50 l/(d Pers 60°C)	50 l/(d Pers 45°C)	30 l/(d Pers 45°C)

Vergleich der Extremszenarien



End- und Primärenergie, CO₂-Äquivalent und Betriebskosten
Vergleich aller Systeme (Hohe Heizlast, 3 WE)



Zusammenfassung - Extremszenarien

- Bei hoher Heizlast haben alle Systeme Probleme, die notwendige Raumtemperatur zu halten.
 - Bei zentralen Kesseln liegt dies aber nur an der Auslegung der Rohrleitungen und Pumpen (Kesselleistung ist ausreichend), Unterdeckung 3%
 - Bei der Solewärmepumpe ist die Unterdeckung mit knapp 6% deutlich größer wegen der Zeitfenster zum Nachladen der Brauchwarmwasserspeicher
 - Die Luft/Luft/Wasser-Systeme haben die größte Unterdeckung (12%) durch die begrenzte Einblasetemperatur und den begrenzten Luftvolumenstrom

Weitere Bewertungskriterien

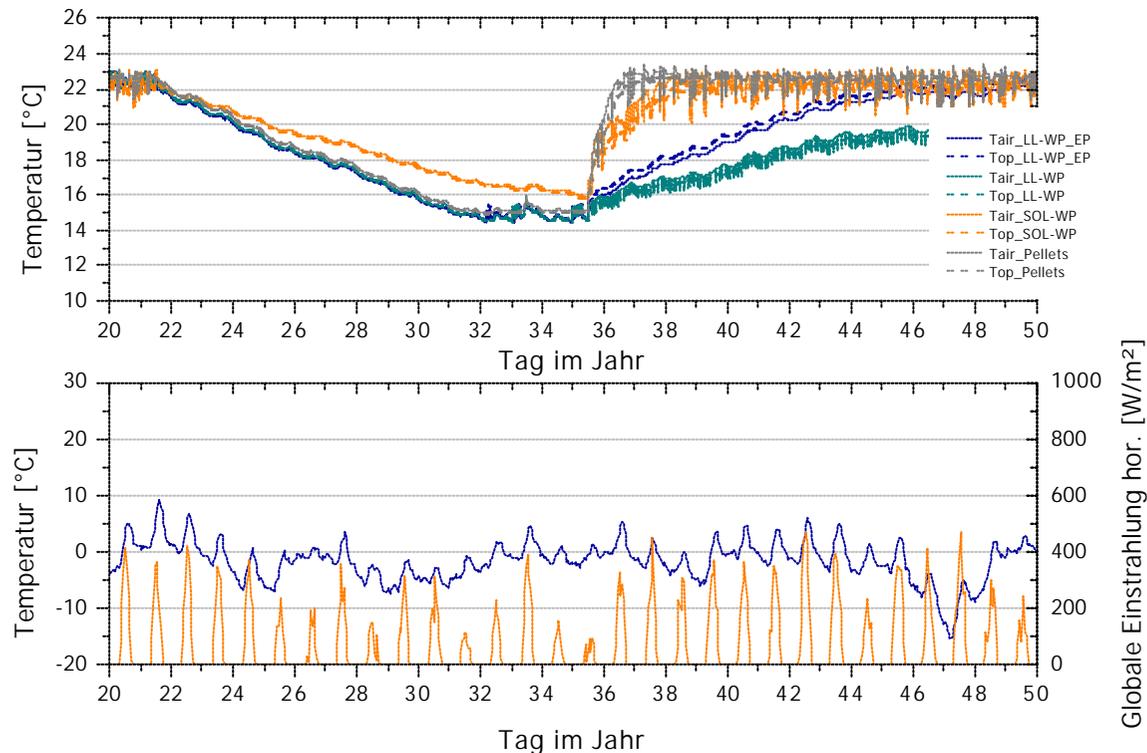
„Härtetests“ (in kalter Winterperiode):

- 4 Stunden starke Fensterlüftung
- Wiederaufheizen nach 14 Tage Absenkung auf 15°C

Statistik über Raumluftqualität und Heizlastverlauf

- Raumtemperaturen,
- Raumluftfeuchten
- Heizlast

„Härtetest“ Wiederaufheizen nach 14 tägiger Raumtemperaturabsenkung auf 15°C (Beispiel 3 WE)



„Härtetest“ Wiederaufheizen nach 14 tägiger Raumtemperaturabsenkung auf 15°C

Analyse:

- Wiederum geringstes Auskühlen mit Fußbodenheizung
- Schnellstes Wiedererwärmen (22°C) mit Radiatorsystem (23 h)
- Fußbodenheizung braucht 75 h (3 Tage !!)
- Luftheizung hat Probleme mit der Wiederaufheizung aufgrund der Leistungsbeschränkung durch Luftwechsel und Einblasetemperatur (c_p Luft = 0,000361 kWh/m³k)
- Unterstützende E-Patrone in Zuluftkanal ist empfehlenswert (auch wenn sie nur selten benötigt wird)
- Absenkbetrieb bringt keine große Energieersparnis (daher nur bedingt empfehlenswert)

Ermittelte Kennwerte für 3 WE

		PoS	PmS	GoS	GmS	SWP	Luft oS	Luft mS
Standardvariante								
Heizenergiebedarf	kWh/m ² a	45,9	45,9	45,9	45,9	45,1	48,6	48,1
Brauchwarmwasserbedarf	kWh/m ² a	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9
Endenergiebedarf								
Pellets/Gas	kWh/m ² a	126	82,5	102	69,4			
Strom Heizung	kWh/m ² a					22,0	27,5	13,7
Strom Haustechnik	kWh/m ² a	2,2	4,1	2,1	3,4	4,6	1,5	3,6
Primärenergiebedarf	kWh/m ² a	163	114	125	91	75	80	45
CO ₂ -äquivalent-Emissionen	kg/m ² a	8,9	7,3	26,8	19,4	11,9	12,7	7,6
Wärmegestehungskosten	EUR/m ² a	12,5	14,3	12,4	14,2	14,8	15,6	17,1
Raumtemperaturschw. bei Heizbetrieb	°C	±0,3	±0,3	±0,3	±0,3	±0,5	±0,4	±0,4
4 h Winter Lüftung Aufheizzeit T _{op} =22°C	h	3	3	3	3	6	18	18
14 Tage Winterabsenk. 15°C Aufheizt	d	1	1	1	1	3	9	9
Extremszenario hohe Heizlast								
Heizenergiebedarf kWh/m ² a		101	101	101	101	101	101	101
Nicht gedeckter Heizbedarf kWh/m ² a		5,1	4,6	5,1	5,0	8,2	17,7	19,8
Wärmegestehungskosten EUR/m ² a		15,5	17,3	15,4	17,2	17,4	19,2	21,3
Extremszenario niedrige Heizlast								
Heizenergiebedarf kWh/m ² a		13,8	13,8	13,8	13,8	15,2	15,2	15,2
Wärmegestehungskosten EUR/m ² a		10,7	12,8	10,5	12,5	13,8	14,8	16,3

Zusammenfassung

- Alle Systeme können normalerweise Raumtemperatur halten
- Radiatorsystem regelt die Temperatur am besten ein
- Das Sole/Wasser/Fußbodenheizungssystem kann, wegen Zeitfenster zum Nachheizens der dezentralen Brauchwarmwasserspeicher, die Raumtemperatur im Szenario „hohe Heizlast“ nicht immer halten
- Das Luft/Luft/Wasser System stößt bei hohem Heizbedarf (Wiederaufheizen, Raumtemperatur $>25^{\circ}\text{C}$ aufgrund der beschränkten Einblasetemperatur und Luftwechsel an seine Grenzen.
- Das Luft/Luft/Wasser System bewirkt aufgrund des höheren Luftwechsels ($0,56$ anstatt $0,4 \text{ h}^{-1}$) etwas geringere Raumlufffeuchten
- Der Unterschied der Länge der Heizperiode ist verantwortlich für die großen Heizenergiebedarfsunterschiede bei unterschiedlichen Raumtemperaturen

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

- Der Endbericht kann nach Approbation von der Homepage „HausderZukunft“ heruntergeladen werden
- **Falls erwünscht kann ein 1-tägiger Workshop mit den detaillierten Ergebnisse abgehalten werden**
- Für weiter Auskünfte steht das Projektteam gerne zur Verfügung